***Российская академия наук***
***Национальная академия наук Беларуси***
***Национальная академия наук Республики Казахстан***
***при Президенте Республики Казахстан***
***Академия наук Республики Узбекистан***

***Всемирный Конгресс***
***«ТЕОРИЯ СИСТЕМ, АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ: МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРИЛОЖЕНИЯ»***
26-30 июня 2023 г.

# ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Москва, 2023

*The Russian Academy of Sciences*
*National Academy of Sciences of Belarus*
*National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*
*under the President of the Republic of Kazakhstan*
*Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan*

*World Congress*
***"SYSTEM THEORY, ALGEBRAIC BIOLOGY, ARTIFICIAL INTELLIGENCE: MATHEMATICAL FOUNDATIONS AND APPLICATIONS"***
June 26-30, 2023

# ABSTRACTS

Moscow, 2023

俄罗斯科学院
白俄罗斯国家科学院
哈萨克斯坦共和国总统领导下的哈萨克斯坦共和国国家科学院
乌兹别克斯坦共和国科学院

# 世界大会
# “系统理论、代数生物学、人工智能：数学基础与应用”
# 2023 年 6 月 26 日至 30 日

## 报告摘要

莫斯科，2023 年

**Всемирный конгресс** (26–30 июня 2023 г., Москва). Теория систем, алгебраическая биология, искусственный интеллект: математические основы и приложения : Тезисы докладов / Рос. акад. наук; Нац. акад. наук Беларуси; Нац. акад. наук Респ. Казахстан; Акад. наук Респ. Узбекистан. – М., 2023. – 750 с. ISBN 978-5-91291-064-7. DOI 10.18699/sblai2023-35

**World Congress** (June 26–30, 2023, Moscow). System Theory, Algebraic Biology, Artificial Intelligence: Mathematical Foundations and Applications : Abstracts / Russian Acad. of Sciences; National Acad. of Sciences of Belarus; National Acad. of Sciences of the Republic of Kazakhstan; Acad. of Sciences of the Republic of Uzbekistan. – Moscow, 2023. – 750 pp. ISBN 978-5-91291-064-7. DOI 10.18699/sblai2023-35

**世界大会** (2023年6月26日至30日 莫斯科). 系统理论、代数生物学、人工智能：数学基础与应用 : 报告摘要 /俄罗斯科学院； 白俄罗斯国家科学院； 哈萨克斯坦共和国总统领导下的哈萨克斯坦共和国国家科学院； 乌兹别克斯坦共和国科学院. – 莫斯科, 2023. – 750 页面. ISBN 978-5-91291-064-7. DOI 10.18699/sblai2023-35

ISBN 978-5-91291-064-7
© Коллектив авторов, 2023



4

**Председатель Конгресса**
Президент РАН академик РАН
**Chairman of the Congress**
President of the Russian Academy of Sciences,
Academician of the Russian Academy of Sciences
**大會主席**
俄羅斯科學院院長、俄羅斯科學院院士
**КРАСНИКОВ Г.Я.**

**Сопредседатель Конгресса**
вице-президент РАН академик РАН
академик-секретарь Отделения нанотехнологий
и информационных технологий РАН
**Co-Chairman of the Congress**
Vice President of the RAS, Academician of the RAS
Academician-Secretary of the Nanotechnology Department
and information technologies of the RAS
**大會聯合主席**
俄羅斯科學院副院長、俄羅斯科學院院士
院士、奈米科技部秘書 俄羅斯科學院資訊科技研究所
**ПАНЧЕНКО В.Я.**

***Члены Оргкомитета Конгресса, главы делегаций:***
***Members of the Congress Organizing Committee,***
***heads of delegations:***
***大會組委會委員、各代表團團長:***

***Республики Беларусь - Republic of Belarus - 來自白俄羅斯共和國***

Заместитель Председателя Президиума Национальной академии наук Беларуси, академик РАН, член-корреспондент НАН Беларуси - Deputy Chairman of the Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus, Academician of the RAS, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus - 白俄羅斯國家科學院主席團副主席、俄羅斯科學院院士、白俄羅斯國家科學院通訊院士 **Казакевич П.П.,**

Ректор Белорусского государственного университета, доктор педагогических наук - Rector of the Belarusian State University, Doctor of Pedagogical Sciences - 白俄羅斯國立大學校長、教育博士 **Король А.Д.**

***Китайской народной республики - China - 來自中華人民共和國***

Директор Китайско-Российского математического центра, академик Китайской академии наук - Director of the China-Russia Mathematical Center, Academician of the Chinese Academy of Sciences - 中俄數學中心主任、中國科學院院士 **Zhang Jiping**

Председатель MECS Publishing House, доктор - Chairman of MECS Publishing House, Dr. - MECS 出版社董事長 , 博士 **Zhengbing Hu**

***Республики Индия - Republic of India - 來自印度共和國***

Директор Pentagram Research Centre, доктор - Director of Pentagram Research Center, Dr. -五角星研究中心主任，博士 **Ethirajan Govinda Rajan**

Вице-канцлер Kodagu University, профессор - Vice-Chancellor of Kodagu University, Professor - 小田谷大學副校長、教授**Ashok Sangappa Alur**

***Республики Казахстан - Republic of Kazakhstan - 來自哈薩克共和國***

Председатель Комиссии по правам человека при Президенте Республики Казахстан, член Европейской комиссии за демократию через право от Казахстана, доктор юридических наук - Chairman of the Human Rights Commission under the President of the Republic of Kazakhstan, member of the European Commission for Democracy through Law from Kazakhstan, Doctor of Law - 哈薩克共和國總統人權委員會主席、哈薩克透過法律實現民主歐洲委員會成員、法學博士 **Рогов И.И.**

***Республики Узбекистан - Republic of Uzbekistan - 來自烏茲別克共和國***

Первый заместитель Спикера Законодательной палаты Олий Мажлиса Республики Узбекистан, академик Академии наук Узбекистана - First Deputy Speaker of the Legislative Chamber of the Oliy Majlis of the Republic of Uzbekistan, Academician of the Academy of Sciences of Uzbekistan - 烏茲別克共和國最高會議立法院第一副議長、烏茲別克科學院院士 **Саидов А.Х.**

Отделение математических наук РАН
Department of Mathematical Sciences RAS
俄罗斯科学院数学科学系

Отделение нанотехнологий и информационных технологий РАН
Department of Nanotechnologies and Information Technologies RAS
俄罗斯科学院纳米技术与信息技术系

Отделение энергетики, машиностроения, механики
и процессов управления РАН
Department of Energy, Mechanical Engineering, Mechanics
and Control Processes RAS
俄罗斯科学院能源、机械工程、力学与控制过程系

Отделение общественных наук РАН
Department of Social Sciences RAS
俄罗斯科学院社会科学系

Отеделение физиологических наук РАН
Department of Physiological Sciences RAS
俄罗斯科学院生理科学系

Отделение медицинских наук РАН
Department of Medical Sciences RAS
俄罗斯科学院医学科学系

Отделение сельскохозяйственных наук РАН
Department of Agricultural Sciences RAS
俄罗斯科学院农业科学部

Научный совет по методологии искусственного ителлекта и когнитивных
исследований при Президиуме Российской академии наук
Scientific Council on the Methodology of Artificial Intelligence and Cognitive
Research under the Presidium RAS
俄罗斯科学院主席团人工智能和认知研究方法论科学委员会

Научный совет РАН по химической физике
Scientific Council RAS for Chemical Physics
俄罗斯科学院化学物理科学委员会

Российское физиологическое общество имени И.П. Павлова
Russian Physiological Society named after I.P. Pavlov
巴甫洛夫俄罗斯生理学会

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П.К.Анохина"
Federal State Budgetary Scientific Institution "Research Institute of Normal Physiology named after P.K. Anokhin"
联邦国家预算科学研究机构“以 P.K. Anokhin 命名的正常生理学研究所”

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН»
Federal State Budgetary Institution of Science “Institute of Mechanical Engineering named after A.A. Blagonravov RAS"
联邦国家预算科学研究所“以命名的机械工程研究所” 互诚协会 俄罗斯科学院布拉贡拉沃夫”

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук»
Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences"
联邦国家预算科学研究机构“俄罗斯科学院西伯利亚分院细胞学与遗传学联邦研究中心研究所”

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт нейронаук и медицины»
Federal State Budgetary Scientific Institution "Research Institute of Neurosciences and Medicine"
联邦国家预算科学研究机构“神经科学和医学研究所”

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова Факультет государственного управления
Lomonosov Moscow State University Faculty of Public Administration
莫斯科国立罗蒙诺索夫大学公共管理学院

Беларусский государственный университет, Беларусь

Belarusian State University, Belarus

白俄罗斯国立大学

International Research Association of Modern Education and Computer Science, China (RAMECS)

中国国际现代教育与计算机科学研究会（RAMECS）

Научно-исследовательский институт многопроцессорных вычислительных и управляющих систем
Research Institute of Multiprocessor Computing and Control Systems
多处理器计算与控制系统研究所

Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации
Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation
俄罗斯联邦政府立法与比较法研究所

Pentagram Research Centre, India

印度五角星研究中心

DNA Resonance Research Foundation,
USA

美国 DNA 共振研究基金会

ФГБУН Институт философии и права Сибирского отделения РАН
Institute of Philosophy and Law of the Siberian Branch RAS
俄罗斯科学院西伯利亚分院哲学与法学研究所

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
Federal Scientific Agroengineering Center VIM
联邦科学农业工程中心 VIM

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный академический университет гуманитарных наук»
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "State Academic University for the Humanities"
联邦国家预算高等教育机构“国立人文学术大学”

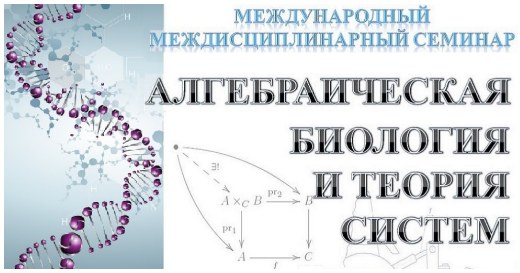
Китайско-российский математический центр, China
Sino-Russian Mathematical Center, China
中俄数学中心, 中国

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московская государственная консерватория
имени П.И. Чайковского»
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher
Education “Moscow State Conservatory named after P.I.
Tchaikovsky"
联邦国家预算高等教育机构“以 命名的莫斯科国立音乐
学院” 柴可夫斯基》

Технический комитет
по стандартизации ТК164
«Искусственный интеллект»
Technical Committee for Standardization
TK164 "Artificial Intelligence"
TK164《人工智能》标准化技术委员会

Российская ассоциация искусственного интеллекта
Russian Association of Artificial Intelligence
俄罗斯人工智能协会

Российская инженерная академия
Russian Engineering Academy
俄罗斯工程学院




Международный
междисциплинарный семинар
«Алгебраическая биология
и теория систем»
International Interdisciplinary Seminar
"Algebraic Biology and Systems Theory"
国际跨学科研讨会‘代数生物学与系统论’

***Спонсорская, техническая, компьютерная и интернет поддержка Конгресса***

***Pentagram Research Centre***
India
印度五角星研究中心
***http://www.pentagramresearch.com/***

***«Фонд поддержки промышленности, науки и образования»***
***Москва, Россия***

**International Research Association of Modern Education and Computer Science China (RAMECS)**
中国国际现代教育与计算机科学研究会
***http://ramecs.org/***

**ООО «Креативный институт идей и новых профессий»,**
***https://kiinp.ru/***

**«СЕО Интеллект», Москва,** ***https://seointellect.ru***

**Студия «Видео Профи», Новосибирск,**
***https://vidprofi.ru***

**АО «Интернет-Проекты», Санкт-Петербург,** ***https://sendsay.ru/***

# ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

ВСЕМИРНОГО КОНГРЕССА
«ТЕОРИЯ СИСТЕМ, АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ,
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ: МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
И ПРИЛОЖЕНИЯ»

***Сопредседатели Организационного комитета Конгресса***

Алдошин С.М., академик РАН, Россия
Гончаров С.С., академик РАН, Россия
Ершов Ю.Л., академик РАН, Россия
Каляев И.А., академик РАН, Россия
Козлов В.В., академик РАН, Россия
Лачуга Ю.Ф., академик РАН, Россия
Лекторский В.А., академик РАН, Россия
Лобачевский Я.П., академик РАН, Россия
Островский М.А., академик РАН, Россия
Панченко В.Я., академик РАН, Россия
Семенов А.Л., академик РАН, Россия
Ткачук В.А., академик РАН, Россия
Хабриева Т.Я., академик РАН, Россия
Черноиванов В.И., академик РАН, Россия
Zhang Jiping, академик Китайской академии наук, Китай
Rajan E. G., President Pentagram Research Centre, Индия
Казакевич П.П., чл.-корр. Национальной академии наук Беларуси, Беларусь
Рогов И.И., Председатель Комиссии по правам человека при Президенте Республики Казахстан, Казахстан
Саидов А.Х. академик Академии наук Узбекистана, Узбекистан

***Сопредседатели Исполнительного организационного комитета Конгресса***

Гончаров С.С., академик РАН,
Колчанов Н.А., академик РАН,
Лачуга Ю.Ф., академик РАН,
Лекторский В.А., академик РАН,
Перцов С.С., чл.-корр. РАН
Семенов А.Л., академик РАН,
Судаков С.К., чл.-корр. РАН

***Секретариат Конгресса***

Толоконников Г.К., руководитель Секретариата, учёный секретарь

Конгресса, НСМИИ РАН, Россия

Витяев Е.Е., учёный секретарь Конгресса, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, Россия

Кабытов П.П. Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации, Россия

Марков В.В., учёный секретарь Конгресса, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Математический институт им. В.А. Стеклова Российской академии наук, Россия

Тельминов О.А., учёный секретарь Конгресса, ученый секретарь Научного совета РАН "Квантовые технологии", Россия

Zhengbing Hu, Chairman of MECS Publishing House, Executive Chairman of RAMECS Association, Китай

Pradeepthi K.V. University of Hyderabad Campus, Gachibowli, Hyderabad, Индия

***Члены Оргкомитета Конгресса***

Афтанас Л.И., академик РАН, директор НИИ нейронаук и медицины СО РАН, Россия

Бетелин В.Б., академик РАН, член Бюро Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН, Россия

Борисов В.В., президент РАИИ, Россия

Гаврюшин С.С., ИМАШ РАН, Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана, Россия

Галкин В.А., ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Россия

Глазунов В.А., директор ИМАШ РАН, Россия

Глазьев С.Ю., академик РАН, председатель Научного совета РАН по комплексным проблемам евразийской экономической интеграции, модернизации, конкурентоспособности и устойчивому развитию, член Коллегии (министр) по интеграции и макроэкономике Евразийской экономической комиссии, Россия

Годжаев З.А., чл.-корр. РАН, ВИМ, Россия

Горнев Е.С., чл.-корр. РАН, НИИМЭ, Россия

Григорьев О.Г., ФИЦ ИУ РАН, Россия

Гусев Б.В., чл.-корр. РАН, президент МИА и РИА, Россия

Дорохов А.С., академик РАН, ВИМ, Россия

***Индийская группа Оргкомитета***

Deepika Naimpally University of Hyderabad Campus, Gachibowli, Hyderabad, Индия

Krishnan V. Jamal Mohamed College, Trichy, Tamil Nadu, Индия

Manish Prateek G.D. Goenka University, Индия

Shashi Kumar Indian Institute of Remote Sensing, Indian Space Research Organization, Dehradun, Индия

Sukesh Kumar B. S. Trustee, Law Mechanics Hyderabad, Индия

Prasanna A. Jamal Mohamed College, Trichy, Tamil Nadu, Индия

Rifayathali M. A. Jamal Mohamed College, Trichy, Tamil Nadu, Индия

Venkata Raman S. University of Hyderabad Campus, Gachibowli, Hyderabad, Индия

***Китайская группа Оргкомитета***

Feng Liu, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Китай

Joshua Zhexue Huang, Shenzhen University, ShenZhen, Китай

Qingying Zhang, Wuhan University of Technology, Wuhan, Китай

Shaocheng Qu, Central China Normal University, Wuhan, China

Xiao-Jun Yang, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Китай

Xiaojing Ma, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Китай

XiaoSong Zhang, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Китай

Xudong Lai, Wuhan University, Wuhan, Китай

Yong Wang, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan, Китай

Zhengbing Hu, Hubei University of Technology, Wuhan, Китай

Zhexue Huang, Shenzhen University, ShenZhen, Китай

Zhiming Ding, Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing, Китай

Zhiwei Ye, Hubei University of Technology, Wuhan, Китай

Иванов Л. А., вице-президент МИА и РИА, Россия

Кобляков А.А., профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московская государственная консерватория имени П.И. Чайковского», Россия

Кобринский Б.А., ФИЦ ИУ РАН, РАИИ, Россия

Король А.Д., ректор Беларусского государственного университета, Беларусь

Любимов А.П. доктор юридических наук, НСМИИ РАН, Россия

Мазуров М.Е., доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Россия

Михайлов И.Ф., ФГБУН «Институт философии РАН», Москва

Myakishev-Rempel M.V., DNA Resonance Research Foundation, San Diego, CA, USA

Пальянов А.Ю., директор ИСИ СО РАН, Новосибирск, Россия

Петрунин Ю.Ю., МГУ им. М. В. Ломоносова, Россия

Петухов С.В., доктор физико-математических наук, Федеральное

государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Россия

Ризниченко Г.Ю., МГУ им. М. В. Ломоносова, Россия

Рубин А.Б., академик РАН, МГУ им. М. В. Ломоносова, Россия

Рожнов С.В., академик РАН, ФГБУН «Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН», Россия

Сигов А.С., академик РАН, заместитель академика-секретаря Отделения нанотехнолгий и информационных технологий РАН, МИРЭА, Россия

Соколов А.С., ректор Московской государственной консерватории им. П.И.Чайковского, Россия

Умрюхин А.Е., Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Министерства здравоохранения РФ, Россия

Ушаков Д.В., академик РАН, директор ФГБУН «Институт психологии Российской академии наук», Россия

Хлебалин А.В., Институт философии и права Сибирского отделения РАН, Россия

Целищев В.В., научный руководитель Института философии и права Сибирского отделения РАН, Россия

Черногор Н.Н. Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации, Россия

Щепин Е.В., чл.-корр. РАН, МИАН им. В.А. Стеклова РАН, Россия

Шогенов Ю.Х., академик РАН, РАН, Россия

***Члены Рабочей группы Оргкомитета Конгресса***

Бакач Н.Г., РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», Беларусь

Варфоломеев А.А., начальник Управления международного сотрудничества РАН, Россия

Василюк Н.А., Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Министерства здравоохранения РФ, Россия

Винник Д.В., доктор философских наук, Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Россия

Владимиров И.Ю. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт психологии РАН, Россия

Гарбук С.В., кандидат технических наук, председатель ТК164 "Искусственный интеллект", Россия

Ещин А.В., кандидат технических наук, ВИМ, Россия

Жданов А.А. доктор физико-математических наук, Акционерное общество Институт точной механики и вычислительной техники имени С.А. Лебедева Российской академии наук, Россия

Зубова С.В. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики СО РАН», Россия

Капустин А.Я., Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации, Россия

Корягин П. А., Начальник Отдела ИТ, УД РАН, Россия

Li Shengjie, Wuhan University, Китай

Мелихов С.А., кандидат физико-математических наук, МИАН им. В.А. Стеклова РАН, Россия

Молоканов С.В., Заместитель Президента РАН - управляющий делами РАН, Россия

Музафаров В.М., кандидат физико-математических наук, член секции Научного совета РАН по методологии искусственного интеллекта и когнитивных исследований, Россия

Свириденко Д.И., доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, Россия

Седов И.В., Научный совет РАН по химической физике, Россия

Смольянинова В.А., МИРЭА, Россия

Соловьев С.А., академик РАН, заместитель главного ученого секретаря президиума РАН, Россия




# *ПРОГРАММА*

## Всемирного Конгресса

***«Теория систем, алгебраическая биология, искусственный интеллект: математические основы и приложения»***

***26-30 июня 2023 г.***

---

***Москва 2023***

# Программа Всемирного Конгресса
## *«Теория систем, алгебраическая биология, искусственный интеллект: математические основы и приложения»*

26 июня 2023 г.,
Москва, Президентский зал РАН (Ленинский пр., 32 а),

9-00 регистрация участников, буфетное обслуживание, синхронный перевод (русский-китайский-английский)

10-00 ***Открытие Конгресса***

Президент РАН академик РАН Красников Г.Я.

От Национальной академии наук Беларуси Заместитель Председателя Президиума НАН Беларуси академик РАН член-корреспондент НАН Беларуси Казакевич П.П.,

От Китайской академии наук директор Китайско-Российского математического центра академик Китайской академии наук Zhang Jiping

От Индийской национальной академии наук директор Pentagram Research Centre Dr. E. G. Rajan

От республики Казахстан и Национальной академии наук республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан Рогов И.И. - Председатель Комиссии по правам человека при Президенте Республики Казахстан, член Европейской комиссии за демократию через право от Казахстана, заместитель исполнительного директора Фонда Первого Президента Казахстана – Елбасы.

От Республики Узбекистан и Академии наук Узбекистана Первый заместитель Спикера Законодательной палаты Олий Мажлиса Республики Узбекистан академик Академии наук Узбекистана Саидов А.Х.

10-30 ***Приветствия Конгрессу***

Отделение нанотехнологий и информационных технологий РАН вице-президент РАН академик РАН Панченко В.Я.

Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН академик РАН Каляев И.А.

Отделение математических наук РАН

Отделение физиологических наук РАН академик РАН Ткачук В.А.

Отделение медицинских наук РАН

Отделение общественных наук РАН академик РАН Хабриева Т.Я.

Отделение сельскохозяйственных наук РАН академик РАН Лобачевский Я.П.

Научный совет РАН по химической физике, вице-президент РАН академик РАН Алдошин С.М.

Российское физиологическое общество им. И.П.Павлова РАН академик РАН Островский М.А.

НИИ нормальной физиологии им. П.К.Анохина РАН член-коррепондент РАН Перцов С.С.

International Research Association of Modern Education and Computer Science, China (RAMECS), Китай, Dr. Z.B. Hu

Беларусский государственный университет, ректор, д.п.н. Король А.Д.

Московская государственная консерватория им П.И.Чайковского, ректор проф. Соколов А.С.

## *Пленарные доклады*

11-00 Лекторский В.А., академик РАН, «Системы, теории сознания, философия искусственного интеллекта, роль формализации и математического моделирования»

11-30 Судаков С.К., чл.-корр. РАН, «Функциональные системы, сложная структура акцептора результата действия»

12-00 Черноиванов В.И., академик РАН, «Биомашсистемы, роль системного подхода в АПК и других отраслях»

12-30 Толоконников Г.К., к.ф.-м.н., «Категорные системы»

13-00 Петухов С.В., д.ф.-м.н., «Матричная генетика и алгебраическая биология»

13-30 Гончаров С.С., академик РАН, «Задачный подход в математике и приложениях к искусственному интеллекту»

14-00 Витяев Е.Е., д.ф.-м.н., «Не редукционистская теория сознания»

С 14-30 по 15-00 перерыв, кофе-брейк

15-00 Анохин К.В., академик РАН, «Сознание в нейронных гиперсетях»

15-30 Ушаков Д.В., академик РАН, «Архитектура когнитивной системы человека и искусственный интеллект»

16-00 Каляев И.А., академик РАН, «Как измерить искусственный интеллект»

16-30 Wenbin Hu, Zhengbing Hu «The Research Progress and Application of Signed Social Network» (Wuhan University, Wuhan, China)

16-40 Xiao-Jun Yang «A New Hot Problem in Analytic Number Theory» (China University of Mining and Technology, Xuzhou, China)

16-50 Xiaojing Ma «A Gradients Scrutinizer to Thwart Split-Learning Hijacking Attacks» (Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, China)

17-00 Семенов А.Л., академик РАН, «Образование расширенной личности века искусственного интеллекта»

17-30 Dr. E. G. Rajan «On the Notion of Constructive Sets and Function Spaces in the Framework of Markov's Mathematico-Logic» (Индия)

18-00 Max Rempel, Ph.D, «Parallelism of Water Layers and DNA Bases: Unfolding the Crystallization Origin of Layered Water Structure and its Implication

on Chromatin Dynamics» (Сан-Диего, США)

18-30 Мазуров М.Е., д.ф.-м.н., «О физике сознания и его формировании»

19-00 Кобляков А.А., «Логика Творчества - новые трансмерные отношения»

19-20 Концерт - трансляция из Московской государственной консерватории им П.И.Чайковского

20-00 Завершение программы 26 июня первого дня Конгресса.

**Программа**

*Всемирного Конгресса*
*«Теория систем, алгебраическая биология, искусственный интеллект: математические основы и приложения»*

27 июня 2023 г.,
Москва, Зеленый зал РАН (Ленинский пр., 32 а)

9-00 регистрация участников, буфетное обслуживание

10-00 Открытие дня Конгресса отделений РАН: Отделение нанотехнологий и информационных технологий РАН, Отделение математических наук РАН, Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН

Панченко В.Я., академик РАН, Колчанов Н.А., академик РАН, Отделение нанотехнологий и информационных технологий РАН;

Хомич В.Ю., академик РАН, Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН;

Семенов А.Л., академик РАН, Отделение математических наук РАН

## *Пленарные доклады*

10-20 Семенов А.Л., академик РАН, «Вопросы определимости»

10-50 Петухов С.В., д.ф.-м.н., Генетическая биомеханика и универсальные правила стохастики геномных ДНК

11-20 Гарбук С.В., НИУ ВШЭ, «Нормативно-техническая поддержка применения методов искусственного интеллекта при обработке данных в средствах измерений»

11-50 Prof. Dr. Michael Patrick Coyle (Brody Medical School of ECU/ Avatar MedVision US LLC, NC, USA) «Three-Dimensional Logical Image Processing System»

12-20 M. V. Ramanujam (Founder and CEO, Propinquity Genomics and Sciences, Bangalore, India) «Fractal Genome-Fractal Cancer-Science to Real world Clinical implications: Genome Analytics to Rescue Ancient Indian Prowess in Mathematics and Computer Science»

12-50 Гаврюшин С.С., д.т.н., «Программно-аппаратная поддержка высокотехнологичных медицинских хирургических операций».

13-20 Целищев В.В., д.ф.н., «Алгоритмическая версия ментализма: диагональный аргумент Пенроуза»

13-50 Щепин Е.В., чл.-корр. РАН, «Применение топологии к оптическому распознаванию»

С 14-20 по 15-00 перерыв, кофе-брейк
Президентский зал (Ленинский пр., 32 а)

15-00 Свирин В.И. «Алгебры Клиффорда в генетической биомеханике»

15-30 Dr. Deepika Naimpally, Dr. Pradeepthi K.V., Dr. S. Venkata Raman (University of Hyderabad, CR Rao Research Centre) "Application Identification from Encrypted Traffic using Entropy Estimation and Machine Learning"

16-00 Вступительная часть вечера памяти Нобелевского лауреата академика РАН Жореса Ивановича Алферова, Любимов А.П., д.ю.н., «Жорес Алферов - легенда мировой науки»

16-20 Budhagavi Rajarao Badrinath, «Applied Markov Models of Social Engineering Processes for Fundamental Information Rights Issue» (Индия)

16-50 Амосов Г.Г., д.ф.-м.н., Комиссаренко А.В. «Возможность алгебраических операций над музыкальным текстом: ритм, интонация, тембр»

17-20 Гальцов Д.В., д.ф.-м.н., «О роли субъекта в музыке и физике»

17-40 Капуткина Н.Е., д.ф.-м.н., «Термодинамические ограничения квантовых вычислительных систем»

18-00 Буле Ж-Ю «Нумерация двадцати протеиногенных аминокислот»

18-20 Пучков М.М. «Новые музыкальные медиа в эпоху постцифрового искусства»

18-50 Сошинский И.С. «Алгоритмизация принципа «Обмана ожидания» и его системообразующий фактор в музыкальном творчестве»

19-20 Концерт музыки в фибоначчи-ступенных строях

20-00 Завершение программы 27 июня второго дня Конгресса.

**Программа**

*Всемирного Конгресса*
*«Теория систем, алгебраическая биология, искусственный интеллект: математические основы и приложения»*

28 июня 2023 г.,
Москва, Президентский зал РАН (Ленинский пр., 32 а)

9-00 регистрация участников, буфетное обслуживание

10-00 ***Открытие дня Конгресса*** Отделения физиологических наук и медицинских наук РАН, Российского физиологического общества им. И.П.Павлова, Научного совета РАН по химической физике (рук. академик РАН Ткачук В.А., академик РАН Стародубов В.И., академик РАН Островский М.А., вице-президент РАН академик РАН Алдошин С.М., чл.-корр. РАН Перцов С.С., чл.-корр. РАН Судаков С.К.)

***Пленарные доклады***

10-20 Островский М.А., академик РАН, «Механизм генерации, передачи и обработки зрительного (фоторецепторного) сигнала в сетчатке глаза»

10-50 Shaocheng Qu prof. “Research on Sliding Mode Control Theory and Application of Sensorless Permanent Magnet Synchronous Motor System” (Central China Normal University, Wuhan, China)

11-20 Умрюхин А.Е., д.м.н., «Алгоритмы поведения человека: может ли искусственный сильный интеллект быть лишён ограничений человеческого»

11.50 Муртазина Е.П., .м.н., Перцов С.С., чл.-корр. РАН, проф. РАН, д.м.н., «Системные аспекты взаимодействия людей и субъектов с искусственным интеллектом»

12.15 Ковалева А.В. к.б.н., Крикленко Е.А., Лихоманова Е.Н. «Кардиореспираторные взаимодействия при выполнении человеком заданий разного уровня сложности»

12.40 Каратыгин Н.А. к.б.н., Коробейникова И.И. к.б.н., Перцов С.С. чл.-корр. РАН, проф. РАН, д.м.н., «Влияние ритмически организованной оптической стимуляции на спектрально-пространственные характеристики α-диапазона ЭЭГ человека при выполнении когнитивной задачи»

13.05 Клименко А.В. к.м.н., Перцов С.С. чл.-корр. РАН, проф. РАН, д.м.н., Яковенко И.Ю проф. д.б.н., «Физиологическая цена высокорезультативного целенаправленного поведения у людей с различными психофизиологическими характеристиками на модели эндохирургического тренинга»

13.30 Бабанов Н.Д. к.б.н., Кубряк О.В. д.б.н. «Особенности сенсомоторной деятельности человека в экзоскелете»

13.55 Аристов В.В., Кубряк О.В. д.б.н., Степанян И.В. «Поиск новых методов анализа ЭЭГ с использованием разномасштабных кольцевых структур»

С 14-20 по 15-00 перерыв, кофе-брейк

15-00 Гаврилова Т.А., д.т.н., Визуализация концептуальных знаний в рамках парадигмы "прозрачного" или объяснимого искусственного интеллекта

15-30 Смелянский Р.Л., чл.-корр. РАН, Степанов Е.П. Применение методов с машинным обучением для управления сетевой вычислительной инфраструктурой

16-00 Аверкин А.Н., к.т.н., «Объяснимый искусственный интеллект, как часть искусственного интеллекта 3-его поколения».

16-30 Еремеев А.П., д.т.н., Варшавский П.Р., к.т.н., «Методы и подходы к разработке интеллектуальных СППР реального времени»

17-00 Ростовцев В.Н., д.м.н., Проект системы ФСД-мониторинга здоровья

17-30 Афанасьева Т.В., д.т.н., Нечёткие модели в задаче дескриптивного и предиктивного анализа медицинских данных пациентов с хроническими заболеваниями

18-00 Ихлов Б. Л., к.ф.-м.н., «Деструкция РНК вирусов с помощью микроволн»

18-40 Ремпель М.В., к.б.н., «Проверка гипотезы о резонансах ДНК при помощи вычислительной геномики. Подходы к моделированию водной оболочки ДНК» (Сан-Диего, США)

19-30 Зырянова Н. В., к.б.н., «Структурирование водных растворов под влиянием олигомеров ДНК и влияние электромагнитных полей на живые структуры»

20-00 Завершение программы 28 июня третьего дня Конгресса.

**Программа**

*Всемирного Конгресса*
*«Теория систем, алгебраическая биология, искусственный интеллект: математические основы и приложения»*

29 июня 2023 г.,
Москва, Президентский зал РАН (Ленинский пр., 32 а)

9-00 регистрация участников, буфетное обслуживание

10-00 ***Открытие дня Конгресса*** Отделения общественных наук РАН и Отделения сельскохозяйственных наук РАН (руководители академик РАН Хабриева Т.Я., академик РАН Лекторский В.А., академик РАН Лобачевский Я.П., Заместитель Председателя Президиума НАН Беларуси, чл.корр. НАН Беларуси Казакевич П.П.)

## *Пленарные доклады*

10-00 Лекторский В.А., председатель НСМИИ РАН, академик РАН Вступительное слово (президентский зал).

10-05 Хабриева Т.Я., академик-секретарь Отделения общественных наук РАН, академик РАН, Приветственное слово, открытия дня Конгресса Отделения общественных наук РАН (президентский зал)

10-10 Глазьев С.Ю., академик РАН «Стратегическое планирование и искусственный интеллект»

10-40 Макаров В.Л., заместитель председателя НСМИИ РАН, академик РАН, «Цифровая платформа сети информационных центров как основа цифровой трансформации»

11-10 Бахтизин А.Р., член-корреспондент РАН «Инструменты цифровой трансформации»

11-40 Петрунин Ю.Ю., д.ф.н. «Государственное управление и искусственный интеллект: история и современность»

12-10 Кудина М.В., д.э.н., зам. декана факультета государственного управления МГУ имени М.В. Ломоносова «Цифровые технологии в управлении человеческим капиталом»

12-40 Алексеев А.Ю., д.ф.н., координатор научных программ НСМИИ РАН «Основные вопросы философии искусственного интеллекта»

13-05 Михайлов И.Ф., д.ф.н. «Фаллибилизм как основа рациональности: философские импликации для естественного и искусственного интеллекта»

13-25 Шелекета В.О., д.ф.н., проф. "Когнитивно-эпистемологические проблемы использования биологических структур для деятельности

информационно-аналитических систем"

13-50 Рябчикова Н. А., д.б.н., МГУ имени М.В. Ломоносова, «Искусственный интеллект в оценке когнитивных функций мозга».

С 14-10 по 14-40 перерыв, кофе-брейк

14-40 Лобачевский Я.П., академик-секретарь Отделения сельскохозяйственных наук РАН, академика РАН; Казакевича П.П., заместитель Председателя НАН Беларуси, чл.-корр. НАН Беларуси - Вступительное слово (президентский зал)

14-50 Лачуга Ю.Ф., академик РАН, Дорохов А.С., академик РАН «Возможности современных подходов в искусственном интеллекте для прорывных технологий в сельскохозяйственном производстве»

15-20 Казакевич П.П., академик РАН (онлайн, Минск) «Автоматизированная сортировка яблок системой технического зрения с искусственной нейронной сетью глубокого обучения»

15-50 Альт В.В., академик РАН (Новосибирск) «Информационные технологии в сельском хозяйстве»

16-20 Федоренко В.Ф., академик РАН «Альтернативные инновационные решения технико-технологического обеспечения обработки и повышения плодородия корнеобитаемых горизонтов почвы»

16-50 Шогенов Ю.Х., академик РАН «Моделирование бегущих электрических импульсов в проводящей системе высшего растения»

17-20 Глинушкин А.П., академик РАН «Применение систем интеллектуального мониторинга и раннего оповещения в борьбе с фитофторозом картофеля»

17-50 Габитов И.И., д-р техн. наук (онлайн, Уфа) «Интеллектуализация технического сервиса машин в АПК»

18-10 Годжаев З.А., чл.-корр. РАН «Разработка и создание адаптивных, агрофильных ходовых систем сельскохозяйственных мобильных энергосредств с применением элементов искусственного интеллекта»

18-40 Брюханов А.Ю., чл.-корр. РАН (онлайн, Санкт-Петербург) «Интеллектуальная аналитическая программная платформа для проактивного управления экологической безопасностью агроэкосистем»

19-10 Цой Ю.А., чл.-корр. РАН, Романов Д.В., к.х.н., Фокин А.И. «Энергетическая конверсия и цифровизация аграрного производства»

19-40 Ростовцев Р.А., чл.-корр. РАН, Диченский А.В., канд. с.-х. наук (онлайн, Тверь) «Разработка концепции информационно-аналитической системы производства продукции растениеводства»

20-00 Завершение программы 29 июня четвертого дня Конгресса.

**Программа**

*Всемирного Конгресса*
*«Теория систем, алгебраическая биология, искусственный интеллект: математические основы и приложения»*

30 июня 2023 г.,
Москва, Президентский зал РАН (Ленинский пр., 32 а)

9-00 регистрация участников, буфетное обслуживание

10-00 ***Открытие дня Конгресса*** посвященного проблематике искусственного интеллекта (рук. академик РАН Каляев И.А., академик РАН Лекторский В.А., академик РАН Панченко В.Я., академик РАН Хабриева Т.Я., академик РАН Гончаров С.С.)

## *Пленарные доклады*

10-10 Лекторский В.А., академик РАН, «Искусственный интеллект в современной картине мира»

10-20 Кобринский Б.А., д.м.н., РАИИ, «Интерпретация, объяснимость и доверие к системам искусственного интеллекта»

10-50 Хабриева Т.Я., академк РАН, «Искусственный интеллект в координатах права»

11-20 Бетелин В.Б., академик РАН, Галкин В.А., д.ф.-м.н., «Математические проблемы создания искусственных нейронных сетей и искусственный интеллект»

12-10 Kumar B.S. (Hyderabad, India) «Artificial Intelligence Based Smart Advocacy in Legal Proceedings»

12-40 Prof. Shaocheng Qu «Research on Sliding Mode Control Theory and Application of Sensorless Permanent Magnet Synchronous Motor System» (Central China Normal University, Wuhan, China)

13-10 Qin Yong, prof., (Beijing Jiaotong University, Beijing, China., Foreign member, Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia), «Interdisciplinary integration intelligence for rail traffic operation and safety»

13-40 Сергеев С.Ф., д.пс.н., «Теория самоорганизующихся когнитивных систем»

С 14-10 по 14-40 перерыв, кофе-брейк

14-40 Борисов В.В., д.т.н., РАИИ, «Мягкие модели и методы в задачах искусственного интеллекта»

15-10 XiaoSong Zhang, prof., (University of Electronic Science and Technology

of China, Chengdu, China., Foreign member, Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia), «Addressing AI-driven global cybersecurity challenges with artificial intelligence»

15-30 Zhiming Ding, Prof., (Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China., Foreign member, Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia), «AIOT SpatialTemporal Data Management and Data Intelligence»

15-50 Воронцов К.В., д.ф.-м.н., «Унификация фрагментной разметки текста и оценивания моделей разметки для формализации гуманитарных знаний»

16-10 Городецкий В.И., д.т.н., «Математические модели группового поведения и управления на основе экспертных знаний»

16-40 Srikanth Pooram, Samir Khalekar, Nitin Pagariya (Aurangabad, India) «Artificial Intelligence Based Image Analysis of an Innovative Product Lead-Free X-Ray Radiation Blocking Tiles»

17-10 Dr. Prasanna A., Dr. Rifayathali M. A., Dr. Premkumar M. "Estimation of Radar Signal Parameters for Creating Electronic Order of Battle Records"

17-40 M. V. Ramanujam (Founder and CEO, Propinquity Genomics and Sciences, Bangalore, India) «Fractal Genome-Fractal Cancer-Science to Real world Clinical implications: Genome Analytics to Rescue Ancient Indian Prowess in Mathematics and Computer Science» (дополнение)

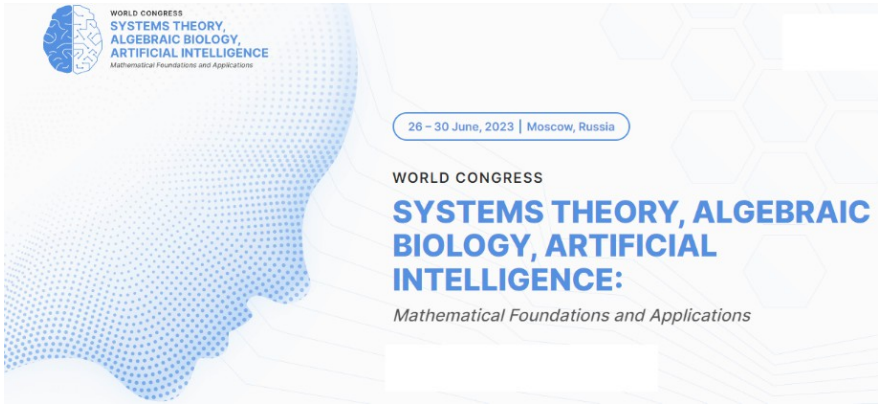
18-10 Котенко И.В., д.т.н., Искусственный интеллект для кибербезопасности: анализ современного состояния фундаментальных и прикладных исследований

18-40 Dragana Bajić1, prof., Goran Dimić, Yuliya Gaidamaka, Nikola Zogović (Univ. of Belgrade IMP, Belgrade, Serbia) «On Telescopic Error-Correcting Capabilities of Splitting Codes»

19-00 Поляков В.Ю., д.т.н., «Искусственный интеллект в междисциплинарных проблемах транспортного строительства»

19-20 Мисник А.Е., к.т.н., (Беларусь), «Онтологический инжиниринг кибер-физических систем на основе мета-ассоциативных графов»

19-40 Принятие решений Конгресса, закрытие Конгресса




# СЕКЦИЯ КОНГРЕССА «*ВОПРОСЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ*»

**Соруководители:**

***Семенов А.Л.***, академик РАН, МГУ им. М.В.Ломоносова
***Гончаров С.С.***, академик РАН, ИМ СО РАН
***Щепин Е.В.*** чл.-корр. РАН, МИАН им. В.А.Стеклова
(подсекция «Топология и ее применения»)
***E.G. Rajan,*** Pentagram, Индия
(подсекция «Теория и применение символьных вычислений с точки зрения искусственного интеллекта»)
***Глазунов В.А.,*** д.т.н., проф., ИМАШ им. А.А. Благонравова
(подсекция «Биомеханика и биоинженерия»)
***Соколов С.М.***, д.ф.-м.н, ИПМ им. М.В. Келдыша
(подсекция «Нейросетевые аспекты искусственного интеллекта»)

**Модераторы:**

Витяев Е.Е., д.ф.-м.н., ИМ СО РАН,
Гаврюшин С.С., д.т.н., ИМАШ им. А.А. Благонравова
Марков В.В., д.ф.-м.н., МИАН им. В.А.Стеклова
Мелихов С.А., к.ф.-м.н., МИАН им. В.А.Стеклова

***26.06.2023***

13-30 Гончаров С.С., академик РАН, «Задачный подход в математике и приложениях к искусственному интеллекту»

14-00 Витяев Е.Е., д.ф.-м.н., «Не редукционистская теория сознания»

17-30 Dr. E. G. Rajan «On the Notion of Constructive Sets and Function Spaces in the Framework of Markov's Mathematico-Logic» (Индия)

***27.06.2023***

10-20 Семенов А.Л., академик РАН, «Вопросы определимости»

13-50 Щепин Е.В., чл.-корр. РАН, «Применение топологии к оптическому распознаванию»

15-00 Малютин В.Б., д.ф.-м.н., Институт математики НАН Беларуси, Минск, Беларусь, «Применение функциональных интегралов к одношаговым процессам»

15-30 Марков В.В., д.ф.-м.н., МИАН им. В.А.Стеклова «О новом лагранжевом взгляде на эволюцию завихрённости в пространственных течениях»

16-00 Ризниченко Г.Ю., д.ф.-м.н., Рубин А.Б., академик РАН, Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, «Моделирование процессов в фотосинтетической мембране высших растений и микроводорослей»

16-30 Новиков Н.Ю., к.т.н., «Фильтры Картана, решетки и направленности Мура и Смита как новая математическая основа анализа и синтеза систем искусственного интеллекта»

17-00 Постнов С.С., к.ф.-м.н., ИПУ РАН, Москва, Россия, «Задачи оптимального управления и оценивания состояния для многомерных динамических систем дробного порядка»

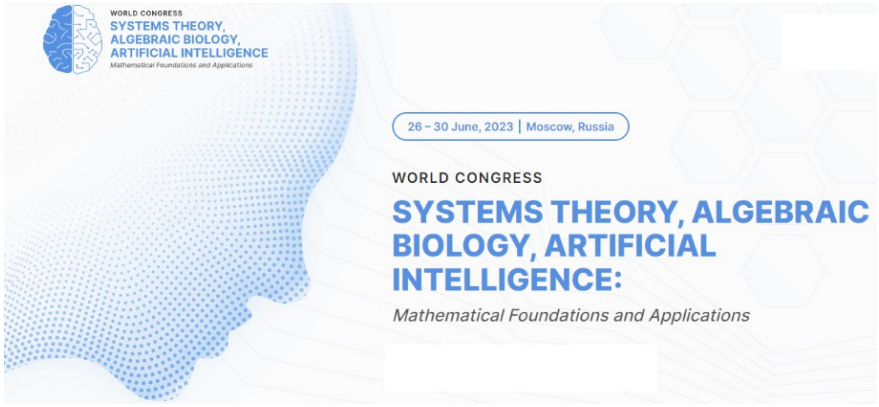
17-30 Жданов А.А., д.ф.-м.н., АО «ИТМиВТ им. С.А. Лебедева РАН», «Некоторые дополнения к пониманию и интерпретации систем»

18-00 Борухов В.Т., Заяц Г.М. Институт математики НАНБ, Минск, Беларусь, «Метод функциональной идентификации нелинейных уравнений параболического и гиперболического типов»

18-30 Клюшин Я.Г., к.ф.-м.н., СПбГУГ ГА, Санкт-Петербург, Россия «Механические характеристики электрона»

19-00 Симонов Н.А., к.ф.-м.н., ФТИАН "Представление семантической информации в образной форме с помощью модели пятен"

19-30 Дискуссия, завершение работы секции 27.06.2023 г.




**СЕКЦИЯ КОНГРЕССА**
***«ВОПРОСЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ»***

**Подсекция Конгресса**
***«Теория и применение символьных вычислений с точки зрения искусственного интеллекта»***
Руководитель и модератор Д-р ***Э. Г. Раджан***

**26 июня 2023 г.**
17:30 – 18:00:
Д-р ***Э. Г. Раджан*** (председатель группы компаний Pentagram, Индия, США, Великобритания и Канада), д-р ***В. Кришнан*** (факультет математики, колледж Джамала Мохамеда, Тричи, Индия)
«О понятии конструктивных множеств и функциональных пространств в рамках марковской математико-логики»

**27 июня 2023 г.**
11-50 часов – 12-20 часов:
Доктор ***Майкл Патрик Койл*** (Медицинская школа ECU/ Avatar MedVision US LLC, Северная Каролина, США)
«Трехмерная логическая система обработки изображений»
12-20 часов – 12-50 часов:
***М. В. Рамануджам*** (основатель и генеральный директор Propinquity Genomics and Sciences, Бангалор, Индия)
«Фрактальный геном для клинических последствий реального мира: анализ генома для спасения древнеиндийского мастерства в математике и информатике»
15-30 часов – 16-00 часов:
Д-р ***Дипика Наймпалли*** (Университет Хайдарабада, Исследовательский центр CR Rao, Индия), Доктор ***Прадипти К.В.*** (Университет Хайдарабада,

Исследовательский центр CR Rao, Индия), Д-р ***С. Венката Раман*** (Университет Хайдарабада, Исследовательский центр Ч. Р. Рао, Индия)

«Идентификация приложений из зашифрованного трафика с использованием оценки энтропии и машинного обучения»

16-30 часов – 17-00 часов

***Будхагави Раджарао Бадринатх*** (председатель BRB Associates, Бангалор, Индия)

«Прикладные марковские модели процессов социальной инженерии для выдачи прав на фундаментальную информацию»

**30 июня 2023 г.**

12-10 часов – 12-40 часов:

***Кумар Б.С.*** (управляющий попечитель, Law Mechanics, Хайдарабад, Индия) «Умная защита интересов на основе искусственного интеллекта в судебных разбирательствах»

16-40 часов - 17-10 часов

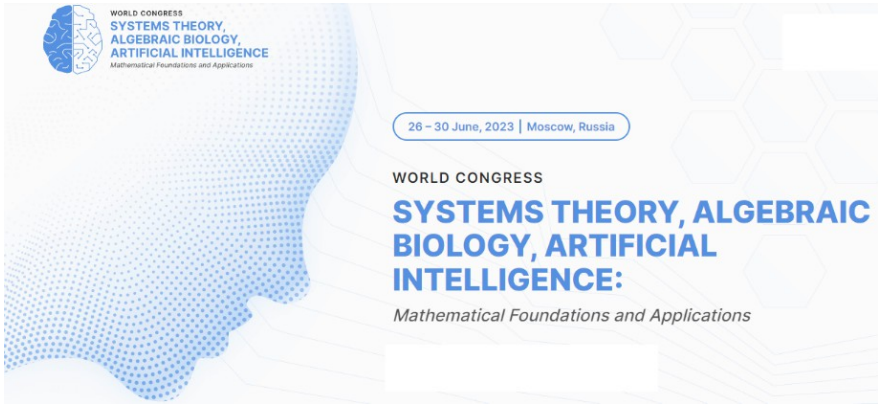
Д-р ***Срикант Пурам*** (председатель Pooram and Pooram Associates, Бангалор, Индия), ***Самир Халекар*** (Trigem Innovations, Аурангабад, Индия), Нитин Пагария (Trigem Innovations, Аурангабад, Индия)

«Анализ изображения инновационного продукта, не содержащего свинец, блокирующего рентгеновское излучение, на основе искусственного интеллекта»

17-10 часов - 17-40 часов

Д-р ***Прасанна А.*** (факультет математики, колледж Джамала Мохамеда, Тричи, Индия), Доктор Рифаятхали, магистр искусств (факультет математики, колледж Джамала Мохамеда, Тричи, Индия), Д-р Премкумар М. (Институт науки и технологий имени Сатьябамы, Ченнаи, Индия)

«Оценка параметров радиолокационного сигнала для создания электронного порядка боевых записей»




# СЕКЦИЯ КОНГРЕССА «ВОПРОСЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНКИ»

## Подсекция Конгресса
***«Топология и ее приложения»***
Руководитель ***Щепин Е.В.***, чл.-корр. РАН
модератор ***Мелихов С.А.,*** к.ф.-м.н.

**27 июня 2023 г.** *РАН, Зеленый зал* (*Ленинскй пр. 32а*)

13-50 ***Щепин Е.В.***, чл.-корр. РАН, МИАН им. В.А.Стеклова, «Применене топологии к оптическму расзнаванию»

С 14-20 по 15-00 перерыв, кофе брейк

15-00 Frolkina O.D. (M.V. Lomonosov Moscow State University) «Properties of a compact set in $R^N$ from its projections»

15-30 Skopenkov A., Styrt O.G. «Embeddability of join powers and minimal rank of partial matrices»

16-00 Melikhov S.A. к.ф.-м.н., МИАН им. В.А.Стеклова, «Is every knot isotopic to a PL knot?»

16-30 Кудрявцева Е.А. МГУ им. М.В.Ломоносова « Algebraic Morse functions and realizability of any planar arrangement of ovals as an algebraic curve»

17-00 Gugnin D.V. МИАН им. В.А.Стеклова «Any suspension and any homology sphere are 2H-spaces»

17-30 Akhmetiev P.M. Tikhonov Moscow Institute of Electronics and Mathematics, «On regular cobordism groups with internal symmetries»

С 18-00 по 18-40 перерыв, кофе брейк

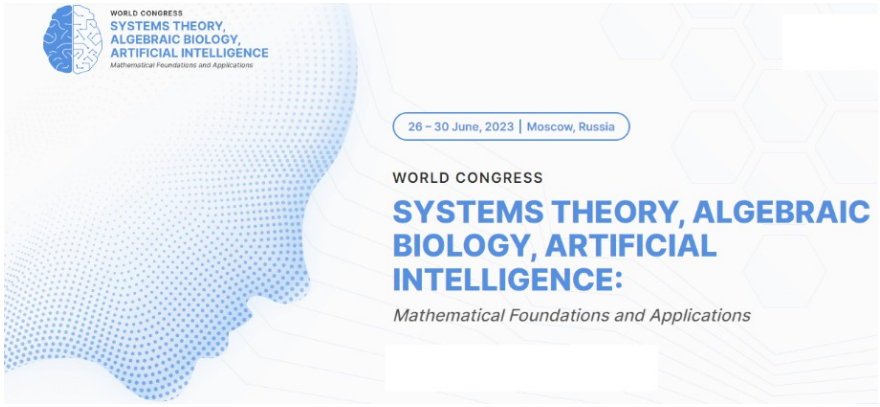
18-40 Новиков В.Н., к.ф.-м.н., МГУ им. М.В.Ломоносова «О неравенствах в произвольных симплексах»

19-15 Покровский И.Л., МГТУ им. Н.Э. Баумана, «К вопросу о распознавании геометрических образов»

**28 июня 2023 г.**

17-00 Макаренко Н.Г., д.ф.-м.н., д.т.н., ГАО РАН, Санкт-Петербург, «Топология и графодинамика магнитных полей Солнца»

18-00 Мантуров В.О., д.ф.-м.н., «The photography method»




***28.06.2023 г.***

## СЕКЦИЯ КОНГРЕССА

**«*Химическая физика строения вещества и биопроцессов* »**

***Руководитель*** академик РАН Алдошин С.М.
***Модератор*** к.х.н. Седов И.В.

15-00 Туманов В.Е., к.х.н., (МОМК, Ногинск, ИПХФ РАН, Черноголовка, Россия) «Энергия диссоциации S-H- связей при 298 К»

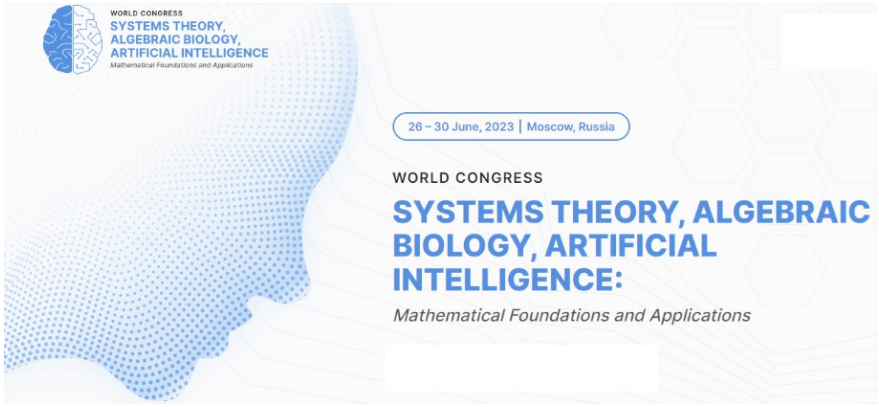
15-30 Осыченко А.А., А.Д. Залесский А.Д., Мартиросян Д.Ю., Точило У.А., Надточенко В.А. ФИЦ химической физики им Н.Н.Семенова РАН, «Применение фемтосекундного лазера ближнего инфракрасного диапазона для биомедицинских технологий»

16-00 Nadtochenko V.A., prof., Cherepanov D.A., Aybush A.V., Gostev F.E. , Shelaev I.V., Mamedov M.D., Semenov A.Yu. FRC Chemical Physics RAS, «Primary photophysical and photochemical processes in photosynthesis: a femtosecond spectroscopy study»

16-30 Разников В.В. (Филиал ФИЦ ХФ им. Н.Н. Семёнова РАН в г. Черноголовке, Московская область,Россия), Разникова М.О. (ФИЦ ПХФ и МХ РАН г. Черноголовка Московской области, Россия) «Выявление и характеризация пространственных структурных компонент биомолекул по масс-спектрам их дейтерозамещённых многозарядных ионов при электрораспылении анализируемых растворов»

17-00 Masalskii N.V., SRISA RAS, Moscow, Russia, «Compact high-sensitivity sensor for biomedical applications»

17-30 Дискуссия, завершение работы секции




## СЕКЦИЯ КОНГРЕССА «*ВОПРОСЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ*»

### Подсекция «Нейросетевые аспекты искусственного интеллекта»

(ИПМ им. М.В. Келдыша РАН)

***Руководитель*** Соколов Сергей Михайлович, д.ф.-м.н,
зав сектором ИПМ им. М.В. Келдыша РАН
***Модератор*** Шелекета Владислав Олегович,
д.ф.н., проф. каф. Теории и методологии науки БГТУ им. В.Г. Шухова.

***29 июня 2023 г.*** *РАН, Президентский зал* (*Ленинскй пр. 32а*)

13-25 Шелекета В.О., д.ф.н., проф. "Когнитивно-эпистемологические проблемы использования биологических структур для деятельности информационно-аналитических систем"

***30 июня 2023 г.***

17-00 Малинецкий Г.Г. , д.ф.-м.н, зав отделом ИПМ им. М.В. Келдыша РАН "Образование и ChatGPT"

17-30 Смолин В.С., науч. сотрудник ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Соколов С. М. д.ф.-м.н, зав сектором ФИЦ ИПМ им. М.В. Келдыща РАН "Выделение простых компонент на основе нейросетевой нелинейной композиции".

18-00 Войцехович В.Э., д-р филос. н., профессор ТвГУ «Способен ли нейросетевой ИИ "дорасти" до СИИ" ?»

19-00 Дискуссия. Завершение работы подсекции.



# *Форум Конгресса*

***Сознание: от постановки проблем к математическим моделям***

***Соруководители*** академик РАН **Лекторский В.А.,**
академик РАН **Гончаров С.С., модератор** д.ф.-м.н. **Витяев Е.Е.**

**26 июня 2023 г.**

11-00 ***Лекторский В.А.***, академик РАН, «Системы, теории сознания, философия искусственного интеллекта, роль формализации и математического моделирования»

11-30 ***Судаков С.К.***, чл.-корр. РАН, «Функциональные системы, сложная структура акцептора результата действия»

12-00 ***Черноиванов В.И.***, академик РАН, «Биомашсистемы, роль системного подхода в АПК и других отраслях»

12-30 ***Толоконников Г.К.***, к.ф.-м.н., «Категорные системы»

13-00 ***Петухов С.В.***, д.ф.-м.н., «Матричная генетика и алгебраическая биология»

13-30 ***Гончаров С.С.***, академик РАН, «Логический подход к проблемам вычислимости через определимость и применение в ИИ»

14-00 ***Витяев Е.Е.***, д.ф.-м.н., НГУ, «Нередукционистская теория сознания»

С 14-30 по 15-00 перерыв, кофе-брейк

15-00 ***Анохин К.В.***, академик РАН, «Сознание в нейронных гиперсетях»

15-30 ***Ушаков Д.В.***, академик РАН, «Архитектура когнитивной системы человека и искусственный интеллект»

16-00 ***Ушаков В.Л.***, к.б.н., доцент, Институт перспективных исследований мозга МГУ им. М.В. Ломоносова «Подходы к построению архитектур

нейросетей головного мозга в когнитивных процессах»

16-30 ***Мазуров М.Е.***, д.ф.-м.н., РЭУ им. Г.В. Плеханова, «О физике сознания и его формировании»

17-00 ***Яхно В.Г.***, д.ф.-м.н., ИПФ РАН, Нижний Новгород, «Базовые модели» стали инструментом для описания поведения живых систем?»

17-30 ***Юматов Е.А.*** НИИ Нормальной Физиологии имени П.К. Анохина, Москва, «Методология познания психической деятельности мозга»

18-00 ***Чернавский А.В.*** ИППИ РАН, Москва, Россия, «Заметки о Естественном Интеллекте»

18-30 ***Chernigovskaya T.V.*** Saint Petersburg State University, Institute for Cognitive Research, Russia «Language and Mind: Not Algorithms Only».

19-00 ***Васюков В.Л.*** Институт философии, Москва, «Логические модели сознания и самосознания»

19-20 ***Быльева Д.С.*** СПбПУ, Санкт-Петербург, Россия «Формула языка»

19-40 ***Винник Д.В.***, д.ф.н., Финансовый университет при Правительстве РФ «О методах изучения экономического поведения приматов»

20-00 Завершение первого дня Форума Конгресса.

WORLD CONGRESS
THEORY OF SYSTEMS,
ALGEBRAIC BIOLOGY,
ARTIFICIAL INTELLIGENCE:
*mathematical foundation and applications*

世界大會
系統論、代數生物學、人工智能:
數學基礎與應用

ВСЕМИРНЫЙ КОНГРЕСС
ТЕОРИЯ СИСТЕМ,
АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ,
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ:
*математические основы и приложения*

# СЕКЦИЯ

**(подсекция Форума «*Сознание: от постановки проблем к математическиммоделям*»)**

***«Феномен инсайта с точки зрения психологии, нейробиологии и физиологии, возможности моделирования»***

***Руководитель*** академик РАН ***Ушаков В.Л.***
**модераторы** д.ф.-м.н. ***Мазуров М.Е., Владимиров И.***

**26 июня 2023 г.**

15-00 ***Анохин К.В.***, академик РАН, «Сознание в нейронных гиперсетях»

***15-30 Ушаков Д.В.,*** академик РАН, ***«***Архитектура когнитивной системы человека и искусственный интеллект***»***

16-00 Lyazgin S.A., Institute of Economic Strategies, Moscow, Russia, «The nature of phenomenal human abilities»

16-20 Ардисламов В.В., РАНХиГС, Россия, «Семантическая дистанция и синтаксический прайминг в русскоязычных задачах CRA»

16-40 Владимиров И.Ю. (ИП РАН, Москва, Россия), Лазарева Н.Ю.(ЯрГУ, Ярославль, Россия), «Фиксированность – тёмная сторона инсайта. Серия экспериментальных исследований»

17-00 Коровкин С.Ю., Падалка Ю.А. (ЯрГУ, Ярославль, Россия) «Инсайтность решения как фактор запоминания решения задачи»

17-20 Медынцев А.А. (ИП РАН, Москва, Россия) «Акцептор Будущего Решения — комплексная модель механизмов продуктивного мышления»

17-40 Морошкина Н.В., Аммалайнен А.В., Гершкович В.А., Львова О.В., Павлючик Е.И., Савина А.И. СПбГУ, Санкт-Петербург, «Субъективная оценка трудности задачи до и после инсайтного решения»

18-00 Спиридонов В. Ф. РАНХиГС, Москва, Россия, «Комплексный характер инсайтного решения: можем ли мы идентифицировать его состав?»

18-30 Новиков Н.Ю. ФГУП «ВНИИФТРИ», Москва, Россия «Шкала

эвристик, интуитивных предпочтений и ожиданий - элемент многомерных информационных шкал искусственного интеллекта»

19-00 Дискуссия, завершение работы секции




# СЕКЦИЯ
## «Системная биология, логика и искусственный интеллект»

***Руководители Секции*** **Кочетов Алексей Владимирович**, Академик РАН, директор ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия; **Колчанов Николай Александрович**, Академик РАН, научный руководитель ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия; **Гончаров Сергей Савостьянович**, Академик РАН, НГУ, Новосибирск, Россия; **Витяев Евгений Евгеньевич**, д.ф.-м.н., НГУ, Новосибирск, Россия

***Место проведения Секции***: ИЦиГ СО РАН, по адресу: Россия, Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 10, конференц-зал в главном корпусе на 3 этаже

***26.06.2023***

12:30-13:30 – Регистрация участников Секции.

Место проведения регистрации: холл на 1-м этаже в главном корпусе ИЦиГ СО РАН, просп. Академика Лаврентьева, 10

13:30-14:00: Открытие Секции «СИСТЕМНАЯ БИОЛОГИЯ, ЛОГИКА И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ». Приветственные слова организаторов Секции:

Кочетов Алексей Владимирович, Академик РАН, директор ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия;

Колчанов Николай Александрович, Академик РАН, научный руководитель ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия;

Гончаров Сергей Савостьянович, Академик РАН, НГУ, Новосибирск, Россия;

Витяев Евгений Евгеньевич, д.ф.-м.н., НГУ, Новосибирск, Россия

Чень Мин, профессор, Университет Чжэцзян, Ханчжоу, Китай

14:00-22:00: Открытие Всемирного Конгресса «ТЕОРИЯ СИСТЕМ, АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ: МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРИЛОЖЕНИЯ» (просмотр трансляции из Президиума РАН, Москва)

***27.06.2023***

## *Подсекция «Логика и Искусственный интеллект»*

Модератор подсекции: Свириденко Дмитрий Иванович, д.ф.-м.н., профессор НГУ, СИБГУТИ

14:30-15:00 – Марченко Михаил Александрович, д.ф.-м.н., директор ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск, Россия

Объяснимый искусственный интеллект: проблемы, вопросы и приложения

15:00-15:30 – Нечесов Андрей Витальевич, к.ф.-м.н, инженер-исследователь, ИМ СО РАН, Новосибирск, Россия

О трех проблемах доверительного искусственного интеллекта

15:30-16:00 – Хуан Чжэ Сюэ, Почетный профессор, Институт больших данных, Шэньчжэньский Университет, Китай

Non-MapReduce Computing for Intelligent Analysis of Big Data

16:00-16:30 – кофе-брейк

16:30-17:00 – Илич Степич Ангелина, Phd, Огнянович З., Математический институт Сербской академии наук и искусств, Белград, Сербия

Формализация когнитивно-поведенческой терапии в логике, основанной на модальных рассуждениях (дистанционный доклад)

17:00-17:30 – Атаева О.М., Серебряков В.А., Тучкова Наталия Павловна, с.н.с., к.ф.-м.н., ФИЦ ИУ РАН, Москва, Россия

О построении графа знаний научной предметной области в семантической библиотеке (дистанционный доклад)

17:30-18:00 – Велькович Александар Небойша, MSc, Митич Н.С., Белградский университет, факультет математики, Белград, Сербия

Структура данных для связывания и запросов к разнообразных биологических метаданных (дистанционный доклад)

18:00-18:30 – Михайловский Николай Эрнестович, Высшая IT-школа ТГУ, Томск; ООО «НТР», Москва, Россия

Три определения меры знания

***28.06.2023***

## *Подсекция «Задачный подход к Искусственному Интеллекту»*

Модератор подсекции: Свириденко Дмитрий Иванович, д.ф.-м.н., профессор НГУ, СИБГУТИ

14:00-14:30 – Свириденко Дмитрий Иванович, д.ф.-м.н., профессор НГУ, СИБГУТИ, АНО «Кластер Искусственного Интеллекта», Новосибирск, Россия

Задачный подход к построению цифрового двойника организации

14:30-15:00 – Манцивода Андрей Валерьевич, д.ф.-м.н., профессор, Гаврилина Д.Э., Гаврилин Д.Н., Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

Объектные онтологии как логические хранилища данных и знаний

15:00-15:30 – Витяев Евгений Евгеньевич, д.ф.-м.н., в.н.с., НГУ, Новосибирск, Россия

Задачный подход к искусственному интеллекту и теория функциональных систем работы мозга

15:30-16:00 – Болдырев Игорь Анатольевич, Свириденко Д.И.2, Федин К.В.3, Рофе А.Р.1, Гриценко А.А.1 .1 НГУ; 2 СибГУТИ; 3 ИНГГ СО РАН, Новосибирск, Россия

Система подддержки принятия решений для волновых методов наразрушающего контроля зданий и сооружений

16:00-16:30 – кофе-брейк

16:30-17:00 – Гумиров Виталий, руководитель и основатель группы Eyeline.mobi. Со-учредитель АНО Кластер ИИ (AI-Cluster.ru), Новосибирск, Россия

Цифровая трансформация с премиенением ИИ и информационная безопасность

17:00-17:30 – Ракшун Яков Валерьевич, к.ф.-м.н., и.о. заведующего кафедрой САПР, СИБГУТИ, Новосибирск, Россия

Задачи построения цифровых двойников для исследований в биологии и микроэлектронике

17:30-18:00 – Колонин Антон Германович, НГУ, Новосибирск, Россия

Модель индивидуального сознания, основанная на принципе социального доказательства и минимизаации потребления ресурсов

18:00-18:30 – Колпаков Федор Анатольевич, к.б.н., АНО ВО «Университет Сириус», Новосибирск, Россия

Цифровой двойник пациента

***29.06.2023***

## *Подсекция «Системная биология»*

Модератор: Землянская Елена Васильевна, к.б.н., с.н.с., ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия

10:00-10:35 – Чень Мин, профессор, Университет Чжэцзян, Ханчжоу, Китай

ТЕОРИЯ СИСТЕМ, АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ: МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ И ПРИМЕНЕНИЯ

10:35-11:10 – Колчанов Николай Александрович, академик РАН, научный руководитель, Иванисенко В.А., Ощепков Д.Ю., Пономаренко М.П., ИЦиГ СО РАН, НГУ, Новосибирск, Россия

Системная биология: генные сети и большие генетические данные

11:10-11:40 – Штарк Марк Борисович, д.б.н. академик РАН, ФИЦ ФТМ, Новосибирск, Россия

Нейронные сети и их интерактивная реконструкция (фМРТ — ЭЭГ исследование) (дистанционный доклад)

11:40-12:00 – кофе-брейк

Модератор: Афонников Дмитрий Аркадьевич, в.н.с., доцент, к.б.н., ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия

12:00-12:30 – Дыгало Николай Николаевич, чл.-корр. РАН, д.б.н., проф., ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия

Нейронно-сетевые аспекты регуляции поведения

12:30-13:00 – Лашин Сергей Александрович, в.н.с., к.б.н., ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия

Реконструкция математических мо делей живых систем: проблемы и перспективы

13:00-13:30 – Пальянов Андрей Юрьевич 1, 2, 3, д.ф.-м.н., директор ИСИ СО РАН, Пальянова Н.В.2 . 1 ИСИ СО РАН; 2 НИИ ФИЦ ФТМ СО РАН; 3 НГУ, Новосибирск, Россия

Об актуальных задачах моделирования эволюционирующих систем

13:30-14:30 – обед

Модератор: Лашин Сергей Александрович, в.н.с., к.б.н., ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия

14:30-15:00 – Козлов Владимир Александрович, НИИФКИ, Новосибирск, Россия

Имунная система: гомеостаз-контролирующие функции, молекулярные и клеточные механизмы контроля

15:00-15:30 – Иванисенко Владимир Александрович, в.н.с., доцент, к.б.н., Вензель А.С., Деменков П.С., Иванисенко Т.В., Антропова Е.А., Гайслер Е.В., Рогачев А.Д., Покровский А.Г., Колчанов Н.А., ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия

Применение методов искуссвенного интеллекта и анализа генных сетей для интерпретации омиксных данных

15:30-15:50 – Акбердин Илья Ринатович, к.б.н., с.н.с., АНО ВО «Университет Сириус» (Сириус), Сочи, Россия

Потоковое моделирование для задач биотехнологии

(дистанционный доклад)

15:50-16:10 – Голубятников Владимир Петрович, д.ф.-м.н., Татаринова Е.А., НГУ, Новосибирск, Россия

Геометрия фазовых портретов одного класса генных сетей

(дистанционный доклад)

16:10-16:30 – Афонников Дмитрий Аркадьевич, в.н.с., доцент, к.б.н., ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия

Методы глубокого машинного обучения в феномике растений

16:30-16:50 – Криворотько Ольга Игоревна 1,2, к.ф.-м.н., с.н.с, Кабанихин С.И.1, д.ф.-м.н., чл.-кор. РАН, Зятьков Н.Ю.1, 1 ИМ СО РАН, 2 ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск, Россия

Построение математических моделей эпидемиологии, экономики и социальных процессов на основе нейронных сетей

16:50-17:10 – кофе–брейк

Модератор: Пальянов Андрей Юрьевич, д.ф.-м.н., директор ИСИ СО РАН, ИСИ СО РАН; НИИ ФИЦ ФТМ СО РАН; НГУ, Новосибирск, Россия

17:10-17:30 – Туркина В.А., Савина Е.А., Вишнякова Е.В., Орлова Н.Г., Орлов Юрий Львович, д.б.н., профессор, Сеченовский Университет, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия

Компьютерная реконструкция генных сетей заболеваний: образование и онлайн инструменты биоинформатики

17:30-17:50 – Филиппов Станислав Сергеевич, Казеннов А.М., МФТИ, Москва, Россия

Использование нейронных сети AlphaFold2 для улучшения результатов белок-белкового докинга

17:50-18:10 – Джапич Владимир, PhD, Институт Изучения и Развития Искусственного Интеллекта Сербии, Белград, Сербия

PneumoScreener: инструмент на основе искуссвенного интеллекта для автоматического обнаружения аномалий на рентгеновских и компьютерных снимках грудной клетки

18:10-18:30 – Милованович Милош, Dr., Математический институт САН (Сербской Академии Наук), Белград, Сербия

Время и сознание в интуиционизме

18:30-18:50 – Нерсисян С.1, Оганесян А.1, 2, Юсян А.3, Акопян С.1, Авагян С.3, Джордан Ф.3, Аракелян А.А.1, 2, Маилян Карине Рафиковна1, д.б.н., 1Институт Молекулярной Биологии, НАН РА; 2 Российско-Армянский университет; 3 Благотворительный фонд “Армянский Реестр Доноров Костного Мозга”, Ереван, Армения

Отсутствие применения подходов системной биологии в оценке взаимосвязи между HLA-C и тяжестью протекания COVID-19

## *Подсекция «Первые шаги в науке»*

Модератор подсекции: Колчанов Николай Александрович, академик РАН, научный руководитель ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия

18:50-19:05 – Кирпичев Владимир Эрнестович, ученик МБОУ СОШ №8 имени М.И. Бусыгина, г. Усть-Илимск, Иркутская область, Россия

Применение технологий и инструментов искуссвенного интеллекта в распознавании и прогнозировании лесных пожаров Российской Федерации

19:05-19:30 – закрытие Секции «СИСТЕМНАЯ БИОЛОГИЯ, ЛОГИКА И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ».

***Подведение итогов:***

Колчанов Николай Александрович, Академик РАН, научный руководитель ИЦиГ СО РАН, Новосибирск, Россия;

Гончаров Сергей Савостьянович, Академик РАН, НГУ, Новосибирск, Россия;

Витяев Евгений Евгеньевич, д.ф.-м.н., НГУ, Новосибирск, Россия

WORLD CONGRESS
THEORY OF SYSTEMS,
ALGEBRAIC BIOLOGY,
ARTIFICIAL INTELLIGENCE:
*mathematical foundation and applications*

世界大會
系統論、代數生物學、人工智能：數學基礎與應用

ВСЕМИРНЫЙ КОНГРЕСС
ТЕОРИЯ СИСТЕМ,
АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ,
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ:
*математические основы и приложения*

# Секция Конгресса

***«Искусственный интеллект в средствах измерений»***

***г. Москва, Покровский бульвар, д. 11, F301***

***27 июня 2023 г.***

***Руководитель Секции*** к.т.н. Гарбук С.В.

***11-20 Гарбук С.В.,*** НИУ ВШЭ, «Нормативно-техническая поддержка применения методов искусственного интеллекта при обработке данных в средствах измерений»

*11-50 Пронин А.Н., Сапожникова К.В., Тайманов Р.Е.*, ГНЦ ФГУП ВНИИМ им. Д.И. Менделеева «Перспективы применения искусственного интеллекта в измерительных системах и проблемы стандартизации в этой сфере»

*12-20 Будкин Ю.В.*, ФГБУ Институт стандартизации, «Применение методов машинного обучения для повышения точности оценки свойств материалов по результатам косвенных измерений»

*12-50 Кузин А.Ю., Крошкин А.Н.*, ФГБУ ВНИИМС, «Практические аспекты применения нейросетевых технологий в средствах измерений и измерительных системах»

*13-20 Морозов В.П., Лебединский И.Ю., Шапошникова Ю.С.*, ООО НАИС, «Перспективы и опыт использования искусственного интеллекта в метрологии для определения метрологической надежности автомобильных и вагонных весов»

*13-50 Прокопчина С.В.*, ФГБОУ ВО Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, «Байесовские технологии в измерительных системах с искусственным интеллектом»

Перерыв с 14-20 до 14-50

*14-50 Малыхина Г.Ф.* ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, «Модельно-ориентированное проектирование информационно-измерительных систем, использующих рекуррентные нейронные сети»

*15-20 Шестаков А.Л., Синицин В.В., Ибряева О.Л.* ФГАОУ ВО Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), «Методы искусственного интеллекта в диагностике прокатного производства»

*15-50 Кашапов А.А., Костюков Д.С.* АНО ВО Университет Иннополис, «Применение искусственного интеллекта в области неразрушающего контроля»

*16-20 Лаврентьев А.Б., Воронцов А.М., Федотов А. А., Выголов О.В.* АО Лаборатория Касперского, «Нейроморфная система машинного зрения для энергоэффективного измерения быстрых процессов»

*16-50* Дискуссия. Завершение работы Секции




# Секция Конгресса
## *«Математика, музыка и искусственный интеллект»*

***Руководитель Секции*** проф. Кобляков А.А.
***Модератор Секции*** Сошинский И.С.

***26 июня 2023 г.***

19-00 Кобляков А.А., проф., «Логика Творчества - новые трансмерные отношения»

*19-20 Концерт музыки, трансляция из Московской государственной консерватории им П.И.Чайковского*

***27 июня 2023 г.***

14-30 Кобляков А.А., проф., «Музыка, мозг, сознание»

15-00 Петухов С.В., д.ф.-м.н. «Музыка и генетика: пифагорейские строи и универсалии геномных ДНК»

15-30 Шушарджан С.В., д.м.н. «Медико-социальные и биотехнологические ресурсы научной музыкотерапии»

16-00 Степанян И.В., д.б.н., Сошинский И.С. «Синтез музыкальных строёв на основе алгоритма Пифагора: параметры, свойства, закономерности»

16-30 Хазина Л.В. «Нейрогенетика и музыкальное творчество»

17-00 Амосов Г.Г., д.ф.-м.н., Комиссаренко А.В. «Возможность алгебраических операций над музыкальным текстом: ритм, интонация, тембр».

17-30 Гальцов Д.В., д.ф.-м.н., «О роли субъекта в музыке и физике»

18-00 проф. Кобляков А.А. «Музыка, мозг, сознание»

18-30 Буле Ж-Ю «Нумерация двадцати протеиногенных аминокислот»

19-00 Пучков М.М. «Новые музыкальные медиа в эпоху постцифрового искусства»

19-30 Сошинский И.С. «Алгоритмизация принципа «Обмана ожидания» и

его системообразующий фактор в музыкальном творчестве»

19-50 Концерт музыки в фибоначчи-ступенных строях

20-00 Дискуссии, завершение работы секции

WORLD CONGRESS
THEORY OF SYSTEMS,
ALGEBRAIC BIOLOGY,
ARTIFICIAL INTELLIGENCE:
*mathematical foundation and applications*

世界大會
系統論、代數生物學、人工智能：數學基礎與應用

ВСЕМИРНЫЙ КОНГРЕСС
ТЕОРИЯ СИСТЕМ,
АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ,
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ:
*математические основы и приложения*

# Секция Конгресса
## *«Легенды мировой и отечественной науки»*

***Модераторы:***
***Любимов А.П., д.ю.н., Марков В.В., д.ф.-м.н.,***
***Музафаров В.М., к.-ф.м.н., Петухов С.В., д.ф.-м.н.***

***27.06.2023*** *РАН, Кабинет академика РАН Нобелевского лауреата Жореса Ивановича Алферова (Москва, Ленинский пр. 32 а)*

16-00 Любимов А.П. , доктор юр. наук, проф., «Жорес Алферов - легенда мировой науки»

Обсуждения, дискуссии, воспоминания участников Секции

17-30 Марков В.В., д.ф.-м.н., «Седов Леонид Иванович и Математический институт им. В.А.Стеклова»

Обсуждения, дискуссии, воспоминания участников Секции

18-10 Петухов С.В. д.ф.-м.н., «Юрий Иванович Манин сопредседатель Международного междисциплинарного семинара Алгебраическая биология и теория систем»

Обсуждения, дискуссии, воспоминания участников Секции

19-00 Музафаров В.М. д.ф.-м.н., «Юрий Михайлович Широков как человек и ученый»

Обсуждения, дискуссии, воспоминания участников Секции




# Секция Конгресса
## *«ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА»*

**Руководители и модераторы:**
***Борисов В.В.,*** д.т.н., президент Россиийской Ассоцации ИИ (РАИИ)**,**
***Забежайло М.И.,*** д.ф.-м.н.**,** ***Кобринский Б.А.,*** д.м.н.

***30.06.2023***

10-10 Лекторский В.А., академик РАН, «Искусственный интеллект в современной картине мира»

*10-20* Кобринский Б.А., д.м.н., РАИИ, «Интерпретация, объяснимость и доверие к системам искусственного интеллекта»

10.50-11.20 ***Грибова В.В.***, д.т.н., чл.-корр. РАН «Онтологические инфраструктуры для создания интеллектуальных систем»

12.10–12.30 ***Атаева О.М.,*** к.т.н., ***Серебряков В.А.,*** д.ф.-м.н.**,** ***Тучкова Н.П.*** к.ф.-м.н., О построении графа знаний научной предметной области в семантической библиотеке

12.30-12.50 ***Борисов В.В.***, д.т.н., ***Жарков А.П***., д.т.н., «Анализ и многомерное прогнозирование состояния сложных систем и проблемных ситуаций на основе нечетких темпоральных онтологических и когнитивных моделей»

12.50-13.10 ***Прокопенко С.А.***, д.т.н., ***Мисник А.Е.***, к.т.н., **«**Темпоральные нейро-нечеткие сети Петри для моделирования и управления сложными процессами в условиях неопределенности

13.10-13.30 ***Виноградов Г.П.***, д.т.н., «Информационные технологии на основе моделей искусственного интеллекта в соединениях вооруженных сил»

13.30-13.50 ***Благосклонов Н.А., Кобринский Б.А., д.м.н.,*** «Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в диагностике

орфанных болезней»

С 13-50 по 15-10 перерыв, кофе-брейк

15.10-15.40 ***Забежайло М.И.***, д.т.н., «К проблеме устойчивости результатов интеллектуального анализа пополняемых наборов данных»

16.40-17.00 ***Палюх Б.В.,*** д.т.н.***, Иванов В.К.,*** к.т.н., Модели и методы совместного использования функций доверия и нечетких нейронных сетей для диагностики многостадийных технологических процессов

17.00 -17.20 ***Смородинов А.Д., Рассадин А.А., Гавриленко Т.В., Галкин В.А.*** Визуальный корреляционный анализ данных на основе искусственных нейронных сетей

18.40-19.00 ***Михеенкова М.А.,*** д.т.н. «Формализация познавательной деятельности в социальных науках»

19.10-19.30 ***Малыхина Г.Ф., д.т.н.,*** «Модельно-ориентированное проектирование информационно-измерительных систем, использующих рекуррентные нейронные сети»




# Секция Конгресса

***«Применение технологий искусственного интеллекта для профилактической медицины и здоровьесбережения»***

***Руководитель Каляев И.А.,*** академик РАН,
***модераторы: Григорьев О.Г.,*** д.ф.-м.н., ***Кобринский Б.А.,*** д.м.н.

***28.06.2023***

17-00 Ростовцев В.Н., д.м.н., «Проект системы ФСД-мониторинга здоровья»

17-30 Афанасьева Т.В., д.т.н., «Нечёткие модели в задаче дескриптивного и предиктивного анализа медицинских данных пациентов с хроническими заболеваниями»

18-00 Кобринский Б.А., д.м.н., «Подходы к созданию интеллектуальной системы контроля состояния операторов критической инфраструктуры»

18-30 Благосклонов Н.А., Берсенев Е.Ю., к.б.н., Воропаева Я.В., «Донитова В.В. Интеллектуальная рекомендательная система по здоровьесбережению»

19-00 Молодченков А.И., к.т.н., Николаев А.А., Пальчевский А.И., Лукин А.В. «Технология построения баз знаний на основе неоднородных семантических сетей для создания интеллектуальных систем (на примере ИИ-Гиппократ)»

19-30 Коровин Я.С., к.т.н., «Технологии дистанционного мониторинга психоэмоционального состояния операторов критической инфраструктуры»

***30.06.2023***

10-50 Петрова В.В., к.м.н., Шулепов П.А., «Медико-биологическая основа модели цифрового медицинского профиля»

11-20 Сенько О.В., д.ф.-м.н., Матвеев И.А., д.т.н., Кузнецова А.В. «Системы полностью значимых интерпретируемых моделей в биомедицинских

исследованиях с использованием технологий искусственного интеллекта»

11-50 Ениколопов С.Н., к.пс.н., Кузнецова Ю.М., к.пс.н., Чудова Н.В., к.пс.н., Чуганская А.А., к.пс.н., «Перспективы развития инструментов автоматического распознавания тревожных и депрессивных состояний у пользователей социальных сетей»

12-20 Смирнов И.В. «Технологии интеллектуального анализа текстов на основе разноуровневой обработки естественного языка»

12-50 Станкевич М.А., «Выявление признаков психического неблагополучия по данным социальных сетей»

13-20 Жебель В.В., д.м.н., Зубарев Д.В., к.ф.-м.н., Девяткин Д.А., к.ф.-м.н., Соченков И.В., к.ф.-м.н., «Методы кросс-языкового выявления тематически близких и связанных документов в системах научно-технического поиска»

14-00 - 15-00 Дискуссия и завершение работы Секции

WORLD CONGRESS
THEORY OF SYSTEMS,
ALGEBRAIC BIOLOGY,
ARTIFICIAL INTELLIGENCE:
*mathematical foundation and applications*

世界大會
系統論、代數生物學、人工智能：數學基礎與應用

ВСЕМИРНЫЙ КОНГРЕСС
ТЕОРИЯ СИСТЕМ,
АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ,
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ:
*математические основы и приложения*

# Симпозиум *"Функциональные системы", посвященный 125-летию со дня рождения П.К. Анохина*

***Руководитель Перцов С.С.*** чл.-корр. РАН,
***модератор Клименко А.В.*** к.м.н.

***28.06.2023,*** РАН, Президентскй зал (Москва, Ленинскй пр., 32а)

11.50 Муртазина Е.П., к.м.н., Перцов С.С. чл.-корр. РАН, проф. РАН, д.м.н., «Системные аспекты взаимодействия людей и субъектов с искусственным интеллектом»

12.15 Ковалева А.В. к.б.н., Крикленко Е.А., Лихоманова Е.Н. «Кардиореспираторные взаимодействия при выполнении человеком заданий разного уровня сложности»

12.40 Каратыгин Н.А. к.б.н., Коробейникова И.И. к.б.н., Перцов С.С. чл.-корр. РАН, проф. РАН, д.м.н., «Влияние ритмически организованной оптической стимуляции на спектрально-пространственные характеристики α-диапазона ээг человека при выполнении когнитивной задачи»

13.05 Клименко А.В. к.м.н., Перцов С.С. чл.-корр. РАН, проф. РАН, д.м.н., Яковенко И.Ю проф. д.б.н., «Физиологическая цена высокорезультативного целенаправленного поведения у людей с различными психофизиологическими характеристиками на модели эндохирургического тренинга»

13.30 Бабанов Н.Д. к.б.н., Кубряк О.В. д.б.н. «Особенности сенсомоторной деятельности человека в экзоскелете»

13.55 Аристов В.В., Кубряк О.В. д.б.н., Степанян И.В. «Поиск новых методов анализа ЭЭГ с использованием разномасштабных кольцевых структур»

WORLD CONGRESS
THEORY OF SYSTEMS,
ALGEBRAIC BIOLOGY,
ARTIFICIAL INTELLIGENCE:
*mathematical foundation and applications*

世界大會
系統論、代數生物學、人工智能：數學基礎與應用

ВСЕМИРНЫЙ КОНГРЕСС
ТЕОРИЯ СИСТЕМ,
АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ,
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ:
*математические основы и приложения*

# Секция Конгресса *«Резонансы ДНК »*

***Руководитель*** Ремпель М.В., к.б.н.,
***модератор*** Полимерий Александра

***28.06.2023***

18-00 Ихлов Борис Лараревич, к.ф.-м.н., "Деструкция РНК вирусов с помощью микроволн"

18-40 Ремпель Максим Викторович, к.б.н., "Параллельность пуриновых последовательностей ДНК в нуклеосомах и структурные модели водной оболочки ДНК".

19-30 Зырянова Нелли Викторовна, к.б.н., "Структурирование водных растворов под влиянием олигомеров ДНК и влияние электромагнитных полей на живые структуры"

20-20 Петухов Сергей Валентинович, д.ф.-м.н., "Резонансные взаимодействия в биосистемах и универсальные правила стохастической организации геномных ДНК"

***29.06.2023***

7-20 утра по тихоокеанскому времени (17-20 мск): д-р ***Ирэн Цезарь*** «Нелокальная ДНК-волновая оптика для дистанционной биоголографии»

8:00 утра по тихоокеанскому времени: ***Ричард Алан Миллер***, доктор философии. «Современная физика и биологическая резонансная сигнализация» Грантс-Пасс, Орегон, США

8-30 утра по тихоокеанскому времени: ***Макс Ремпель***, доктор философии. «Параллелизм слоев воды и оснований ДНК: раскрытие происхождения кристаллизации многослойной структуры воды и ее влияние на динамику хроматина», Сан-Диего, США

9-00 по тихоокеанскому времени (12-00 по восточному поясному времени):

***Глен Рейн***, доктор философии. «Экологические реакции ДНК человека, контролируемые с помощью спектроскопии диэлектрического импеданса», США.

9-45 по тихоокеанскому времени (12-45 по восточному поясному времени) ***Панельная дискуссия***

10–50 по тихоокеанскому времени (20-50, Финляндия) ***Матти Питканен*** «Взгляд TGD на квантовую биологию и понятие морфогенетического поля»

11–30 утра по тихоокеанскому времени (20-30, Италия) ***Диего Лучио Рапопорт Камподонико***, доктор философии. «Логофизика бутылки Клейна и сверхдуальный онтопоэзис: единство разума и пространственно-временных физико-химико-биологических организаций»

13:00 PDT (16:00 EDT): ***Энтони Фуччионе*** «Электродинамика клеточного цикла. Биоэлектромагнитные поля», США

***30.06.2023***

16-20 ***Алексей Мелких*** "Взаимодействия ДНК и белков: нерешенные вопросы"

17-00 ***Николай Колтовой*** "Влияние электромагнитного поля на ДНК"

17-40 ***Сергей Котковский*** «Золото-комплексное сечение. Принцип кососимметрического сопряжения. Дуальные поля»

18-20 Панчелюга В.А., к.ф.-м.н., "О системном значении универсального спектра периодов"

19-00 ***Мякишев-Ремпель М.В.,*** к.б.н. "Проверка гипотезы о резонансах ДНК при помощи вычислительной геномики. Раковые мутации предпочтительно избегают попадания в электронные провода в ДНК"

WORLD CONGRESS
THEORY OF SYSTEMS,
ALGEBRAIC BIOLOGY,
ARTIFICIAL INTELLIGENCE:
*mathematical foundation and applications*

世界大會
系統論、代數生物
學、人工智能:
數學基礎與應用

ВСЕМИРНЫЙ КОНГРЕСС
ТЕОРИЯ СИСТЕМ,
АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ,
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ:
*математические основы и приложения*

# Секция Конгресса
## *«Вопросы фундаментальной физиологии и медицины»*

**Секция «Вопросы фундаментальной физиологии и медицины»**

Руководитель и модератор д.м.н. Умрюхин А.Е.

28 июня 2023 г.,

Москва, кафедра нормальной физиологии Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (Моховая, д. 11, строение 4)

### *Пленарные доклады*

10-30 Островский М.А. «Механизм генерации, передачи и обработки зрительного (фоторецепторного) сигнала в сетчатке глаза» (трансляция Президентского зала РАН)

11-00 Умрюхин А.Е. «Алгоритмы поведения человека: может ли искусственный сильный интеллект быть лишён ограничений человеческого»

### *Секционные доклады*

12-00 Полетаева И.И. «Когнитивные способности животных – успешная селекция мышей на признак «неисчезаемость»

12-30 Машарипов Р.С., Князева И.С., Коротков А.Д., Киреев М.В. «Методы построения функционального коннектома мозга человека»

13-00 Снежин А.Н. «Строение искусственного суперинтеллекта»

13-30 Горкин А.Г. «Мозг, психофизиологическая проблема, искусственный интеллект»

14-00 Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Косарева К.В., Сушкова Л.Т. Владимирский государственный университет, Владимир, Россия «Решения для общедоступного скрининга сердечно-сосудистых заболеваний»

14-30 Дискуссия




# Section of the Congress *"Methodological aspects of prognosing"*

***Руководители и модераторы:***
***Рябчикова Н.А., д.б.н., Годарев-Лозовский М.Г.***

***29.06.2023***

## *Пленарные доклады*

13-50 Рябчикова Н. А., д.б.н., МГУ им.Ломоносова, «Искусственный интеллект в оценке когнитивных функций мозга»

14-10 Годарев-Лозовский М.Г. «Прогноз концептуального решения в будущем первой проблемы Д. Гильберта»

14-40 Королёв А. Д., к.ф.н., «Роль виртуалистики в прогнозировании научно-технического прогресса»

## *Секционные доклады*

15-00 Елхова О.И., д.ф.н., Кудряшев А.Ф., д.ф.н., «Особенности предвидения в эволюционной модели искусственного интеллекта»

15-20 Сапунов В.Б., д.б.н, «Биоиндикационные методы в предсказании природных и антропогенных катастроф»

15 40 Савостьянов Г.А., д.б.н., «О новой теории разделения труда и прогнозирования развития организмов и сообществ»

16-00 Алтаев Н. К., к.х.м., «О прогностических возможностях основополагающих идей научной философии Декарта»

16-20 Войцехович В.Э., д.ф.н., проф. ТвГУ, «Возможные фундаментальные прорывы в науке 21 в.

16-40 Емельянов А. Н., к.б.н., «Утиный тест, как методология обмана в прогностике»

17-00 Першуткин С.Н., доктор соц. наук, «О необходимости новой методики прогнозирования на принципах асимметрии»

17-20 Полуян П.В., к.ф.н., «Прогнозирование на основе обработки текстов на естественных языках (база данных как цифровой двойник текста)»

17-40 Тетенков Н. Б., к.ф.н., «Социальное прогнозирование»

18-00 Фалько В. И., к.ф.н., «Виртуальная реальность в темпорологии и прогностике. Парадокс предсказания научного открытия: пути разрешения»

18-20 Ксендзук А.В., д.т.н., МИРЭА "Статистическая устойчивость нейросетей в задачах прогнозирования"

18-40 Дискусссия

WORLD CONGRESS
THEORY OF SYSTEMS,
ALGEBRAIC BIOLOGY,
ARTIFICIAL INTELLIGENCE:
*mathematical foundation and applications*

世界大會
系統論、代數生物學、人工智能：數學基礎與應用

ВСЕМИРНЫЙ КОНГРЕСС
ТЕОРИЯ СИСТЕМ,
АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ,
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ:
*математические основы и приложения*

# Секция Конгресса
## *«Биомеханика и биоинженерия»*

***Соруководители*** д.т.н., проф. **В.А. Глазунов**,
д.т.н., проф. **С.С. Гаврюшин**, д.ф-м.н. **С.В. Петухов**

29 июня 2023г.
(Время на доклады 10-15 минут, 5 минут ответы на вопросы)

10-15 Гаврюшин С.С., д.т.н., «Программно-аппаратная поддержка высокотехнологичных медицинских хирургических операций»

10-30 Каганов Ю.Т., Гримберг Д.С. «Биоинспирированное управление манипулятором типа «хобот» на основе методов искусственного интеллекта»

10-45 Степанян И.В., д.б.н., «Исследование свойств пространств дробной размерности в математической биологии и их приложения в вычислительной геометрии, анализе данных и обработке сигналов»

11-00 Фомин А.С., Глазунов В.А., д.т.н., «Реконфигурируемый механизм для посттравматической реабилитации»

11-15 Гаврюшин С.С., д.т.н., Арутюнов С.Д., Полякова Т.В. «Конечно-элементное моделирование установки временных внутрикостных имплантатов при лечении концевого дефекта зубного ряда»

11-30 Румянцева А.А., Романова П.С., Щукин С.И., Волков А.К. «Оценка биологического возраста человека»

11-45 Кобелев А.В., Попова В.А., Гойдина Т.А., Липич Я.Н., Щукин С.И. «Нейромышечный интерфейс предплечья на основе метода электроимпедансной миографии»

12-00 Ихлов Б. Л. «Деструкция РНК covid-19 и ВИЧ с помощью микроволн»

12-15 Ихлов Б. Л. «Расширенная паспортизация генома человека»

12-30 Долгих А.И. «Механизмы параллельной структуры в устройствах

реабилитации нижних конечностей»

12-45 Колосов Е.В., Рочагов А.В., Жолобов А.В. Явелов И.С. «Неинвазивные методы и средства для получения, анализа и передачи кардиомеханосигналов»

13-00 Дубровская Е.С., Лапшина М.А., Малкова А.Н., Лермонтов С.А. «Создание 3D сетей из живых нейронов в матрице на основе кевларовых аэрогелей»

13-15 Петухов С.В. д.ф.-м.н., «Генетическая биомеханика и универсальные правила стохастики геномных ДНК»

13-45 Киселев С.В., Фомин А.С., «Складной шестиподвижный манипулятор параллельной структуры с круговой направляющей»




# Секция Конгресса

***«Философско-методологические основания искусственного интеллектаи когнитивных исследований»***

***29 июня 2023 г.***

***Ведущий*** в президентском зале: академик РАН Лекторский В.А.
***Ведущие онлйн:*** д.ф.н. Алексеев А.Ю., к.ф.н. Катречко С.Л.

Прослушивание выступлений из Президентского зала и транслируемых в Президентский зал

10-00 Лекторский В.А., председатель НСМИИ РАН, академик РАН Вступительное слово (Президентский зал).

10-05 Хабриева Т.Я., академик-секретарь Отделения общественных наук РАН, академик РАН, Приветственное слово, открытия дня Конгресса Отделения общественных наук РАН (Президентский зал)

10-10 Глазьев С.Ю., академик РАН «Стратегическое планирование и искусственный интеллект»

10-40 Макаров В.Л., заместитель председателя НСМИИ РАН, академик РАН, «Цифровая платформа сети информационных центров как основа цифровой трансформации»

11-10 Бахтизин А.Р., член-корреспондент РАН «Инструменты цифровой трансформации»

11-40 Петрунин Ю.Ю. д.ф.н. «Государственное управление и искусственный интеллект: история и современность»

12-10 Кудина М.В., д.э.н., зам. декана факультета государственного управления МГУ имени М.В. Ломоносова «Цифровые технологии в управлении человеческим капиталом»

Пленарные доклады, представленные в Президентском зале

12-40 Алексеев А.Ю., д.ф.н., координатор научных программ НСМИИ РАН

«Основные вопросы философии искусственного интеллекта» (Президентский зал)

13-10 Михайлов И.Ф., д.ф.н. «Фаллибилизм как основа рациональности: философские импликации для естественного и искусственного интеллекта» (президентский зал)

13-40 Целищев В.В., д.ф.н., научный руководитель Института философии и права СО РАН, «Вычислимость и невычислимость в контексте философии математики» (зал ИЦиГ СО РАН, секции 1 и 3)

Перерыв с 14-10 по 14-40

Пленарные доклады онлайн

14-40 Аршинов В.И., член НСМИИ РАН, д.ф.н., Институт философии РАН, «Сложностный искусственный интеллект» (***онлайн***)

15-10 Хлебалин А.В., к.ф.н., Институт философии и права СО РАН «Вычислимость человеческая и машинная: сопоставления» (зал ИЦиГ СО РАН, секции 1 и 3)

15-40 Ткаченко В.В., Филипеня О.Л. (Минск) «Информационный аспект методологии философии»

16-10 Сергеев С.Ф., д.пс.н., (Санкт-Петербургский государственный университет) председатель Санкт-Петербургского регионального отделения НСМИИ РАН «Антропоморфная технопроекция в искусственном интеллекте» (***онлайн***)

16-40 Барышников П.Н., д.ф.н., ФГБОУ ВО "Пятигорский государственный университет", «Вычислительные машины, тело и разум: метафорические истоки механистического компьютационализма» (***онлайн***)

17-10 Зайкова А.С., кандидат философских наук (Институт философии и права Сибирского отделения РАН) Новая В-теория как основная теория времени для систем искусственного интеллекта (зал ИЦиГ СО РАН, секции 1 и 3)

17-40 Катречко Сергей Леонидович, кандидат философских наук, (ГАУГН) Трансцендентализм и искусственный интеллект (***онлайн***)

С 18-10 дискуссия

19-00 закрытие секции




# Секция Конгресса

***«Вычислимость машинная и человеческая, феномен неполноты»***

***29 июня 2023 г.***

***Ведущий*** проф. Целищев В.В.
***Модератор*** Хлебалин А.В.

Прослушивание выступлений из программы Президентского зала

10-00 Лекторский В.А., председатель НСМИИ РАН, академик РАН Вступительное слово (президентский зал).

10-10 Хабриева Т.Я., академик-секретарь Отделения общественных наук РАН, академик РАН, Приветственное слово, открытия дня Конгресса Отделения общественных наук РАН (президентский зал)

10-40 Макаров В.Л., заместитель председателя НСМИИ РАН, академик РАН, «Цифровая платформа сети информационных центров как основа цифровой трансформации» (зал МГУ Шуваловский корп.)

11-10 Бахтизин А.Р., член-корреспондент РАН «Инструменты цифровой трансформации» (зал МГУ Шуваловский корп.)

11-40 Петрунин Ю.Ю. д.ф.н. «Государственное управление и искусственный интеллект: история и современность» (зал МГУ Шуваловский корп.)

12-10 Кудина М.В., д.э.н., зам. декана факультета государственного управления МГУ имени М.В. Ломоносова «Цифровые технологии в управлении человеческим капиталом» (зал МГУ Шуваловский корп.)

12-40 Алексеев А.Ю., д.ф.н., координатор научных программ НСМИИ РАН «Основные вопросы философии искусственного интеллекта» (Президентский зал)

Перерыв с 13-10 по 13-40

13-40 Целищев В.В., д.ф.н., научный руководитель Института философии и права СО РАН, «Вычислимость и невычислимость в контексте философии математики» (зал ИФПР СО РАН, ***транслируется в Президентский зал***)

14-10 Юрьев Р.А., к.ф.н., Институт философии и права СО РАН «Какой вид неполноты предполагается теоремами Гёделя» (зал ИФПР СО РАН)

14-40 Родин К.А., к.ф.н., Институт философии и права СО РАН «Истинность гёделева предложения для машины Тьюринга» (зал ИФПР СО РАН)

15-10 Хлебалин А.В., к.ф.н., Институт философии и права СО РАН «Вычислимость человеческая и машинная: сопоставления» (зал ИФПР СО РАН, ***транслируется также для секции*** «Философско-методологические основания)

Доклады в зале секции (зал ИФПР СО РАН)

15-40 Моисеева А.Ю., к.ф.н., Институт философии и права СО РАН «Эпистемологические версии тезиса А. Чёрча».

16-10 Санджаков А.А., к.ф.н., Институт философии и права СО РАН «Направления критики аргумента Лукаса».

16-40 Габрусенко К.А., Философский факультет ТГУ «Знание о собственной непротиворечивости машиной и человеком».

17-10 Зайкова А.С., к.ф.н., Институт философии и права СО РАН «Новая B-теория как основная теория времени для систем искусственного интеллекта»

17-40 Дискуссия

18-10 Завершение работы секции.

WORLD CONGRESS
THEORY OF SYSTEMS,
ALGEBRAIC BIOLOGY,
ARTIFICIAL INTELLIGENCE:
*mathematical foundation and applications*

世界大會
系統論、代數生物學、人工智能：數學基礎與應用

ВСЕМИРНЫЙ КОНГРЕСС
ТЕОРИЯ СИСТЕМ,
АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ,
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ:
*математические основы и приложения*

# Секция Конгресса

***«Искусственный интеллект, кибернетика и цифровая трансформация государственного управления»***

***Председатель секции*** д.ф.н., проф. **Петрунин Ю.Ю.**

29 июня 2023г.

10-00 ***Лекторский В.А.***, председатель НСМИИ РАН, академик РАН Вступительное слово (президентский зал).

10-05 ***Хабриева Т.Я.***, академик-секретарь Отделения общественных наук РАН, академик РАН, Приветственное слово, открытия дня Конгресса Отделения общественных наук РАН (президентский зал)

10-10 ***Глазьев С.Ю.***, академик РАН «Стратегическое планирование и искусственный интеллект»

10-40 ***Макаров В.Л.***, заместитель председателя НСМИИ РАН, академик РАН, «Цифровая платформа сети информационных центров как основа цифровой трансформации»

11-10 ***Бахтизин А.Р.***, член-корреспондент РАН «Инструменты цифровой трансформации»

11-40 ***Петрунин Ю.Ю.*** д.ф.н. «Государственное управление и искусственный интеллект: история и современность»

12-10 ***Кудина М.В.***, д.э.н., зам. декана факультета государственного управления МГУ имени М.В. Ломоносова «Цифровые технологии в управлении человеческим капиталом»

12-40 ***Андреюк Д.С.*** «Культурный код и векторизация смыслов: разработка количественных инструментов для анализа угроз национальной идентичности со стороны ИИ»

13-10 ***Першуткин С.Н.*** «О необходимости новой методики прогнозирования на принципах асимметрии»

14-00 Дискуссия, завершение работы секции

WORLD CONGRESS
THEORY OF SYSTEMS,
ALGEBRAIC BIOLOGY,
ARTIFICIAL INTELLIGENCE:
*mathematical foundation and applications*

世界大會
系統論、代數生物學、人工智能：數學基礎與應用

ВСЕМИРНЫЙ КОНГРЕСС
ТЕОРИЯ СИСТЕМ,
АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ,
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ:
*математические основы и приложения*

# Секция Конгресса
## *«Право и искусственный интеллект»»*

***29.06.2023***

***Председатель секции***
**Хабриева Т.Я.,** *академик-секретарь*
*Отделения общественных наук РАН, академик РАН*

10-00 ***Лекторский В.А.***, председатель НСМИИ РАН, академик РАН Вступительное слово (президентский зал).

10-05 ***Хабриева Т.Я.***, академик-секретарь Отделения общественных наук РАН, академик РАН, Приветственное слово, открытия дня Конгресса Отделения общественных наук РАН (президентский зал)

10-10 ***Глазьев С.Ю.***, академик РАН «Стратегическое планирование и искусственный интеллект»

10-40 ***Макаров В.Л.***, заместитель председателя НСМИИ РАН, академик РАН, «Цифровая платформа сети информационных центров как основа цифровой трансформации»

11-10 ***Бахтизин А.Р.***, член-корреспондент РАН «Инструменты цифровой трансформации»

11-40 ***Петрунин Ю.Ю.*** д.ф.н. «Государственное управление и искусственный интеллект: история и современность»

12-10 ***Кудина М.В.***, д.э.н., зам. декана факультета государственного управления МГУ имени М.В. Ломоносова «Цифровые технологии в управлении человеческим капиталом»

12-40 ***Алексеев А.Ю.***, д.ф.н., координатор научных программ НСМИИ РАН «Основные вопросы философии искусственного интеллекта»

13-05 ***Михайлов И.Ф.***, д.ф.н. «Фаллибилизм как основа рациональности: философские импликации для естественного и искусственного интеллекта»

13-25 ***Целищев В.В.***, д.ф.н., научный руководитель Института философии

и права СО РАН, «Вычислимость и невычислимость в контексте философии математики»

13-50 ***Рябчикова Н. А.***, д.б.н., МГУ имени М.В. Ломоносова, «Искусственный интеллект в оценке когнитивных функций мозга».

### *Секционные доклады*

14-40 ***Хабриева Т.Я.***, академик-секретарь Отделения общественных наук РАН, академик РАН, открытие заседания Секции;

14-50 ***Рогов И.И.***, д.ю.н, председатель Комиссии по правам человека при Президенте Республики Казахстан, член Европейской комиссии за демократию через право (Венецианской комиссии) от Казахстана, заместитель исполнительного директора Фонда Первого Президента Казахстана – Елбасы;, Приветственное слово;

15-00 ***Кучеров И.И.***, д.ю.н., Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации «Искусственный интеллект: угрозы и риски через призму права»;

15-15 ***Ястребов О.А.***, д.ю.н., д.э.н., Российский университет дружбы народов «Правовое понимание искусственного интеллекта»;

15-30 ***Wang Xiumei*** Dr. & Professor of Law at Beijing Normal University Vice-president of International Association of Penal Law Director of G20 Research Center on Cooperation Regarding Persons Sought for Corruption and Asset Recovery in G20 Member States «Traditional Criminal Law Categories And AI in China»;

15-45 ***Синицын С.А.***, д.ю.н., Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации «Искусственный интеллект: конвергенция технического и правового мировоззрения»;

16-00 ***Курбанов Рашад Афатович,*** д.ю.н., Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова «Актуальные вопросы частно-правового регулирования искусственного интеллекта: современный опыт и перспективы развития»;

16-15 ***Ни Ling***, associate professor Peking University Law School «Recommendation Algorithm Regulation under Platform Subcontracting Regime in China»;

16-30 ***Южаков В.Н.***, д. филос. н., Ефремов А.А., д.ю.н., Центр технологий государственного управления Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации «Что должен уметь искусственный интеллект для успешной борьбы с коррупциогенностью законодательства?»;

16-45 ***Минбалеев А.В.***, д.ю.н., Московский государственный юридический университет им. О.Е. Кутафина «Проблемы и перспективы принятия закона об искусственном интеллекте»;

17-00 ***Xue Zhang***, Postdoctoral Researcher, Law School of Beijing Normal «University AI-related Offences in the Criminal Law of the PRC»;

17-15 ***Морозов А.В.***, д.ю.н, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова «Кибернетические и организационно-правовые основы деятельности систем искусственного интеллекта»;

17-30 ***Трунцевский Ю.В.***, д.ю.н., Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации «Искусственный интеллект в правоприменении»;

17-45 ***Мехтиев М.Г.***, к.ю.н., Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации «Регулирование искусственного интеллекта в законодательствах зарубежных стран».

18-00 ***Маджумаев М.М.,*** к.ю.н., РУДН, "Высокотехнологичные средства и орудия преступления: Технология Deepfake"

18-15 Дискуссия

18-30 Завершение работы секции.

WORLD CONGRESS
THEORY OF SYSTEMS,
ALGEBRAIC BIOLOGY,
ARTIFICIAL INTELLIGENCE:
*mathematical foundation and applications*

世界大會
系統論、代數生物學、人工智能：數學基礎與應用

ВСЕМИРНЫЙ КОНГРЕСС
ТЕОРИЯ СИСТЕМ,
АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ,
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ:
*математические основы и приложения*

# Секция Конгресса

***«Агропромышленный комплекс и сельский социум: аграрные системы, сельскохозяйственное машиностроение, искусственный интеллект »***

***Руководители*** Лобачевский Я.П., академик-секретарь Отделения сельскохозяйственных наук РАН,
Лачуга Ю.Ф., академик РАН, Дорохов А.С. академик РАН

**29.06.2023** РАН, Президентскй зал (Москва, Ленинский пр., 32а)

14-40 Лобачевский Я.П., академик-секретарь Отделения сельскохозяйственных наук РАН, Казакевич П.П., заместитель Председателя НАН Беларуси, чл.-корр. НАН Беларуси - Вступительное слово (президентский зал РАН)

14-50 Лачуга Ю.Ф., академик РАН, Дорохов А.С. академик РАН «Возможности современных подходов в искусственном интеллекте для прорывных технологий в сельскохозяйственном производстве»

15-20 Казакевич П.П., академик РАН (Минск) «Автоматизированная сортировка яблок системой технического зрения с искусственной нейронной сетью глубокого обучения»

15-50 Альт В.В., академик РАН (Новосибирск) «Информационные технологии в сельском хозяйстве»

16-20 Федоренко В.Ф., академик РАН «Альтернативные инновационные решения технико-технологического обеспечения обработки и повышения плодородия корнеобитаемых горизонтов почвы»

16-50 Шогенов Ю.Х. академик РАН «Моделирование бегущих электрических импульсов в проводящей системе высшего растения»

17-20 Глинушкин А.П., академик РАН «Применение систем интеллектуального мониторинга и раннего оповещения в борьбе с фитофторозом картофеля»

17-50 Габитов И.И., д-р техн. наук (Уфа) «Интеллектуализация технического сервиса машин в АПК»

18-10 Годжаев З.А., чл.-корр. РАН «Разработка и создание адаптивных, агрофильных ходовых систем сельскохозяйственных мобильных энергосредств с применением элементов»

18-40 Брюханов А.Ю., чл.-корр. РАН (Санкт-Петербург) «Интеллектуальная аналитическая программная платформа для проактивного управления экологической безопасностью агроэкосистем»

19-10 Цой Ю.А., чл.-корр. РАН «Энергетическая конверсия и цифровизация аграрного производства»

19-40 Ростовцев Р.А., чл.-корр. РАН; Диченский А.В., канд. с.-х. наук (онлайн, Тверь) «Разработка концепции информационно-аналитической системы производства продукции растениеводства»

20-00 Завершение программы 29 июня четвертого дня Конгресса.

**30.06.2023**

Москва, Президиум РАН, Президентский зал (Ленинский пр., 32а)
Москва, ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (1-й Институтский проезд, дом 5)

9-00 регистрация участников, буфетное обслуживание

10-00 Лекторский В.А., председатель НСМИИ РАН, академик РАН Вступительное слово (президентский зал).

10-10 Хабриева Т.Я., академик-секретарь Отделения РАН, академик РАН, Приветственное слово, открытия дня Конгресса по ИИ (Президентский зал)

Пленарные доклады, представленные в президентском зале

10-10 Глазьев С.Ю., академик РАН «Стратегическое планирование и искусственный интеллект» (зал МГУ Шуваловский корп.)

10-40 Макаров В.Л., заместитель председателя НСМИИ РАН, академик РАН, «Цифровая платформа сети информационных центров как основа цифровой трансформации» (зал МГУ Шуваловский корп.)

Доклады секции в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (онлайн)

11-10 Кирсанов В.В., чл.-корр. РАН «Применение систем искусственного интеллекта для управления локальными биомашсистемами в молочном животноводстве»

11-40 Бакач Н.Г., Азаренко В.В., Голдыбан В.В. (онлайн, Минск) «Техническое зрение для автоматической идентификации и отделения некондиционных клубней картофеля»

12-00 Катаев Ю.В., Костомахин М.Н., Пестряков Е.В. «Использование технологий нейронных сетей для контроля технического состояния энергонасыщеных тракторов»

12-20 Комлач Д. И., Юрин А.Н., Воробей А.С. «Автоматизированная сортировка клубней картофеля по внешним дефектам системой технического зрения с искусственной нейронной сетью глубокого обучения»

12-40 Смирнов И.Г. «Применение технологий искусственного интеллекта в садоводстве»

13-00 Старовойтов С.И. «Система управления почвообрабатывающими машинами с активными рабочими органами на основе машинного зрения и нейронной сети»

13-20 Цой Ю.А., Кирсанов В.В., Передня В.И. «Искусственный интеллект и направления его использования в сельскохозяйственных процессах»

13-40 Дорохов А.С., Аксенов А.Г., Сибирёв А.В. «Робототехническая система оптической оценки функционального состояния биологических объектов»

Перерыв с 14-00 до 14-40

15-00 Будников Д.А. «Применение компьютерного моделирования и машинного обучения в качестве методов обоснования параметров СВЧ-конвективных установок для эффективной переработки зерна и семян»

12-20 Лобачевский Я.П., Курбанов Р.К., Захарова Н.И. «Беспилотные воздушные суда как инструмент цифровой трансформации сельского хозяйства»

15-40 Слинко Д.Б., Чавдаров А.В. «Роботизированный комплекс плазменно-порошковой наплавки деталей типа “вал”»

16-00 Федоренко В.Ф., Аристов Э.Г. «Альтернативная концепция повышения экологической безопасности применения средств химической защиты растений и продовольственной безопасности»

16-20 Беневоленский С.Б., Кирьянов А.А. «Особенности программного обеспечения агроробота с системой машинного зрения и модулем искусственного интеллекта»

16-40 Виноградов А.В. «Концепция повышения надёжности электроснабжения сельских потребителей и качества поставляемой им электроэнергии средствами цифровой трансформации электрических сетей 0,4-10 кВ»

17-00 Федоренко В.Ф., Иванов А.Б. «Повышение энергоэффективности машинно-тракторных агрегатов с использованием интеллектуальной телеметрической системы»

17-20 Сайфутдинова З., Каспранов И., Бельцова С., Мелентьева Н. «Пасека как модель рационального природопользования»

17-40 Савченкова И.П. «Церебральные органоиды как новые

экспериментальные модели для изучения раннего развития мозга на молекулярном, клеточном, структурном и функциональном уровнях in vitro»

18-00 Солдатенко А.В., Домблидес А.С., «Биотехнология, цифровизация и быстрая селекция овощных культур»

18-20 ***Прослушивание заключительных выступлений из Президентского зала***

19-30 Дискуссия

20-00 Завершение работы секции и Конгресса

WORLD CONGRESS
THEORY OF SYSTEMS,
ALGEBRAIC BIOLOGY,
ARTIFICIAL INTELLIGENCE:
*mathematical foundation and applications*

世界大會
系統論、代數生物學、人工智能：數學基礎與應用

ВСЕМИРНЫЙ КОНГРЕСС
ТЕОРИЯ СИСТЕМ,
АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ,
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ:
*математические основы и приложения*

# Секция Конгресса

***«Инженерная проблематика»***

***Секция Международной инженерной академии и Российской инженерной академии***

***Руководитель*** Гусев Б.В., чл.-корр. РАН,
***Модератор*** к.т.н. Федотов М.Ю.

***30.06.2023***

13-10 Qin Yong, prof., (Beijing Jiaotong University, Beijing, China), «Interdisciplinary integration intelligence for rail traffic operation and safety»

14-20 Будадин О.Н., д.т.н., Федотов М.Ю. к.т.н., Козельская С.О. «Элементы искусственного интеллекта в системах комплексной диагностики полимерных композитных материалов и конструкций»

15-10 XiaoSong Zhang, prof., (University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, China) «Addressing AI-driven global cybersecurity challenges with artificial intelligence»

15-30 Дин Чжимин, Российская Инженерная Академия, «AIOT Spatial-Temporal Data Management and Data Intelligence"»

19-00 Поляков В.Ю., д.т.н., «Искусственный интеллект в междисциплинарных проблемах транспортного строительства»

20-00 Дискуссия, завершение секции и Конгресса.



**КРАСНИКОВ**
*Геннадий Яковлевич,*

*академик РАН,*
*Президент РАН,*
*Председатель Всемирного Конгресса «Теория систем, алгебраическая биология, искусственный интеллект: математические основы и приложения»,*

*Academician of the RAS,*
*President of the RAS,*
*Chairman of the World Congress "Systems Theory, Algebraic Biology, Artificial Intelligence: Mathematical Foundations and Applications",*

*俄羅斯科學院院士，*
*俄羅斯科學院院長，*
*"系統論、代數生物學、人工智能：數學基礎與應用"世界大會主席*

***Уважаемые коллеги, дорогие друзья!***

Конгресс имеет очень широкое название "Теория систем, алгебраическая биология, искусственный интеллект: математические основы и приложения".

В насыщенной содержательной повестке Конгресс охватывает широкий круг актуальных и значимых тем. Настоящий Конгресс посвящен развитию и распространению теории систем, начиная с теории функциональных систем, биомашсистем, категорных систем, математических теорий систем, алгебраической биологии, искусственному интеллекту с упором на математическую основу и разделы фундаментальной математики. В Конгрессе участвуют ученые, работающие в самых различных областях и направлениях, математики, философы, биологи и юристы. Нет сомнений в том, что идеи и предложения, высказанные в ходе пленарных и секционных заседаний, послужат научному осмыслению многих важнейших фундаментальных и прикладных проблем. Особенно проблем связанных с развитием технологий искусственного интеллекта. Как известно, сегодня ряд вопросов в этой сфере остаётся не разрешённым, они связаны с выявлением пределов в использовании технологий искусственного интеллекта в различных сферах жизнедеятельности общества, в способах преодоления угроз и рисков.

Очевидно также и то, что в нынешних сложных геополитических условиях нашей стране необходимо добиться безусловного лидерства в области искусственного интеллекта.

***Желаю всем участникам, гостям и организаторам Всемирного Конгресса плодотворной работы, интересного и результативного общения, взаимовыгодных профессиональных контактов!***

***Dear colleagues, dear friends!***

The congress has a very broad title "Systems Theory, Algebraic Biology, Artificial Intelligence: Mathematical Foundations and Applications". In a rich substantive agenda, the Congress covers a wide range of relevant and significant topics. The purpose of this Congress is devoted to the development and dissemination of systems theory, starting with the theory of functional systems, biomachsystems, categorical systems, mathematical systems theory, algebraic biology, artificial intelligence with an emphasis on the mathematical basis and sections of fundamental mathematics. The Congress is attended by scientists working in various fields and directions, mathematicians, philosophers, biologists and lawyers. There is no doubt that the ideas and proposals expressed in the course of the plenary breakout sessions will serve as a scientific understanding of many of the most important fundamental and applied problems. Especially the problems associated with the development of artificial intelligence technologies. As you know, today a number of issues in this area remain unresolved, they are associated with the identification of limits in the use of artificial intelligence technologies in various spheres of society, in ways to overcome threats and risks. It is also obvious that in the current difficult geopolitical conditions, our country needs to achieve unconditional leadership in the field of artificial intelligence.

I wish all participants, guests and organizers of the World Congress fruitful work, interesting and productive communication, mutually beneficial professional contacts!

***親愛的同事們、親愛的朋友們！***

大會有一個非常寬泛的標題“系統理論、代數生物學、人工智能：數學基礎和應用”。 大會的實質性議程豐富，涵蓋了廣泛的相關且重要的議題。 本次大會的目的是致力於系統理論的發展和傳播，從泛函理論開始

系統、生物機器系統、分類系統、數學系統理論、代數生物學、人工智能，重點是數學基礎和基礎數學部分。 出席大會的有各個領域和方向的科學家、數學家、哲學家、生物學家和律師。 毫無疑問，在全體分組會議中表達的想法和建議將成為對許多最重要的基礎和應用問題的科學理解。 尤其是與人工智能技術發展相關的問題。 如您所知，今天該領域的許多問題仍未解決，它們與確定社會各個領域使用人工智能技術的限制有關，以克服威脅和風險。

同樣顯而易見的是，在當前困難的地緣政治條件下，我國需要在人工智能領域實現無條件的領先。祝愿世界大會的所有與會者、嘉賓和組織者工作富有成果，交流有趣而富有成效，專業交往互利！

祝愿世界大會的所有與會者、嘉賓和組織者工作富有成果，交流有趣而富有成效，專業交往互利！



**КАЗАКЕВИЧ**
*Петр Петрович,*

*академик РАН,*
*член-корреспондент*
*НАН Беларуси,*
*Заместитель Председателя*
*Президиума НАН Беларуси*

***Уважаемые участники Всемирного Конгресса "Теория систем, алгебраическая биология, искусственный интеллект: математические основы и приложения"!***

От имени Национальной академии наук Беларуси разрешите приветствовать открытие Конгресса и пожелать ему плодотворной работы.

Отличительная особенность Конгресса состоит в его междисциплинарности, мы находимся на стыке биологии, нейробиологии и фундаментальной математики, именно здесь лежат корни тех прорывных технологий, которые столь востребованы нашими странами на пути разработки и внедрения искусственного интеллекта и в особенности сильного искусственного интеллекта. Подчеркну, что, например, в сельском хозяйстве, в АПК тех известных и популярных методов нейронных сетей глубокого обучения уже не хватает,переход к индивидуальному уходу за продуктивными животными и культурными растениями вскрывает резервы востребованного повышения объемов сельхозпродукции и ее качества, но именно здесь необходимо принятие сельхозмашинами решений в режиме реального времени, выработка новых алгоритмов самими машинами и механизмами воспринимающими и учитывающими сигналы от живых объектов.

Указанные вопросы не только носят междисциплинарный характер, но и крайне сложны, их решение по необходимости требует привлечения широкого круга ученых и специалистов разных научных направлений из разных стран, объединения их усилий.

Национальная академия наук Беларуси выступила в качестве одного из организаторов Конгресса, ученые Беларуси включились в программу Конгресса в качестве докладчиков и слушателей по самым различным направлениям, которые охватывает Конгресс, в том числе, это касается важнейшей для Беларуси сельскохозяйственной отрасли, представленной на Конгрессе совместной с белорусской стороной секцией "Агропромышленный комплекс и сельский социум: аграрные системы, сельскохозяйственное машиностроение, искусственный интеллект".

Выражаю надежду на плодотворные дискуссии, полезные научные контакты участников Конгресса и его успешную работу!

***Dear participants of the World Congress "Systems Theory, Algebraic Biology, Artificial Intelligence: Mathematical Foundations and Applications"!***

On behalf of the National Academy of Sciences of Belarus, let me welcome the opening of the Congress and wish it fruitful work.

A distinctive feature of the Congress is its interdisciplinarity, we are at the intersection of biology, neuroscience and fundamental mathematics, it is here that the roots of those breakthrough technologies that are so in demand by our countries on the way to the development and implementation of artificial intelligence, and especially strong artificial intelligence, lie. I emphasize that, for example, in agriculture, in the agro-industrial complex, those well-known and popular methods of deep learning neural networks are no longer enough, the transition to individual care for productive animals and cultivated plants opens up reserves for a demanded increase in the volume of agricultural products and its quality, but it is here that adoption is necessary. agricultural machinery solutions in real time, the development of new algorithms by the machines themselves and mechanisms that perceive and take into account signals from living objects.

These issues are not only interdisciplinary in nature, but also extremely complex, their solution, of necessity, requires the involvement of a wide range of scientists and specialists in various scientific fields from different countries, and the unification of their efforts.

The National Academy of Sciences of Belarus acted as one of the organizers of the Congress, scientists from Belarus joined the Congress program as speakers and listeners in various areas covered by the Congress, including the most important agricultural industry for Belarus, presented at the Congress jointly with the Belarusian party with the section "Agro-industrial complex and rural society: agrarian systems, agricultural engineering, artificial intelligence".

I express hope for fruitful discussions, useful scientific contacts of the Congress participants and its successful work!

***尊敬的“系統論、代數生物學、人工智能：數學基礎與應用”世界大會的與會者！***

我謹代表白俄羅斯國家科學院對大會的召開表示歡迎，並預祝大會取得豐碩成果。

大會的一個顯著特點是它的跨學科性，我們處於生物學、神經科學和基礎數學的交叉點，正是在這裡，我們各國在開發和實施人工智能，尤其是強大的人工智能，是謊言。 我強調，例如，在農業、農工綜合體中，那些眾所周知和流行的深度學習神經網絡方法已經不夠了，向生產性動物和栽培植物的個體護理的過渡為生產性動物和栽培植物開闢了儲備。要求增加農產品的數量和質量，但這就是採用實時農業機械解決方案、機器本身開發新算法以及感知和考慮來自生物體信號的機制的地方。

這些問題不僅具有跨學科性質，而且極其複雜，其解決必然需要各國不同科學領域的廣泛科學家和專家的參與，並統一努力。

白俄羅斯國家科學院作為大會的組織者之一，來自白俄羅斯的科學家作為大會涵蓋的各個領域的演講者和聽眾加入了大會計劃，其中包括白俄羅斯最重要的農業產業，並在大會上共同介紹與白俄羅斯黨合作，開展“農工綜合體和農村社會：土地系統、農業工程、人工智能”部分。

我祝愿大會與會者進行富有成果的討論、有益的科學接觸以及大會的成功工作！



**Чжан Цзипин**
*академик*
*Академии наук Китая,*
*директор*
*Китайско-российского*
*Математического Центра*

**Zhang Jiping**
*Academician of Chinese*
*Academy of Sciences,*
*Director of Sino-Russian*
*Mathematics Center*

**张继平 主任**
*北京大学教授，*
*中国科学院院士*

***Уважаемый Президент Красников Г.Я.,***
***уважаемые гости, дамы и господа!***

От имени Китайско - Российского математического центра я хотел бы выразить свои теплые поздравления с торжественным открытием этого Всемирного Конгресса и пожелать этому Конгрессу больших успехов. Этот Всемирный Конгресс говорит нам, что математика является универсальной основой для всех наук и имеет широкое и глубокое применение. Мы выходим в особое время, грядет информационная революция. Эта революция уходит корнями в математику. Иногда эту революцию называют искусственным интеллектом. Революция искусственного интеллекта привела к большим изменениям во всем мире. Насколько я знаю, машинное обучение помогло математикам обрести новую математику, интуицию и стать великими гуру. Как вы знаете, машинное обучение помогло математикам обрести новую математическую интуицию и совершить великий прорыв. Также нам необходимо разработать более эффективную математическую теорию искусственного интеллекта. Китайско-Российский математический центр тоже над этим работает.

Организация Китайско-российского математического центра была предложена премьер-министром Китая Кётяном Ли своему российскому коллеге в 2019 году в рамках китайско-российского года науки и технологических инноваций. А в следующем году центр был создан. За последние несколько лет, особенно в условиях глобальной пандемии COVID-19, Китайско-Российский математический центр очень усердно работал и многого добился для развития международного сотрудничества и обмена, особенно между китайскими и российскими математиками. 26 ноября 2021 года президент Путин заявил, что создание Китайско-российского математического центра стало одним из важнейших результатов работы среди более, чем тысячи научно-исследовательских мероприятий Китайско-российского года научно-технических инноваций. Недавно три медалиста Ф.М. Земинов сказал: «Математика поистине интернациональна и глобальна». Есть только одно слово математика. Люди в разных странах решают одни и те же проблемы, приходят к одним и тем же выводам и учатся друг у друга. Мы сделаем все возможное,

чтобы внести свой вклад в создание лучшей и более дружественной международной среды для сотрудничества, что послужит развитию взаимоотношения стран, которое президент Си Цзиньпин и президент Путин считают приоритетным. Большое спасибо!

***Respected President Krasnikov G. Ya.,***
***distinguished guests, ladies and gentlemen!***

On behalf of the Sino-Russian Mathematics Center, I would like to express my warm congratulations to the grand opening of this world congress and wish this congress a great success. This world congress tell us that the mathematics is a universal foundation for all sciences and has applications widely and deeply, we leave at a special time, the information revolution is coming. This revolution is rooted in mathematics. Sometimes this revolution is called artificial intelligence. AI revolution has brought great changes all around the world. As I know, machine learning has helped mathematicians to have a new mathematics, intuition and being a great guru. As you know, machine learning has helped mathematicians to have a new mathematical intuition and make great breakthroughs in rehabilitation theory. Also we need to develop more efficient mathematical theory for AI. And the Sino-Russian Mathematics Center is also working on it. The Sino-Russian Mathematics Center was proposed as part of China-Russian year of science and technology innovation by Chinese Premier Kötian Li to his Russian counterpart in 2019. And then the center was established in the following year. In the past few years, particularly with the global pandemic of COVID-19, the Sino-Russian Mathematics Center has worked very hard and achieved a lot to promote the international collaborations and exchange particularly between Chinese and Russian mathematicians. On November 26, 2021, President Putin said that the establishment of the Sino-Russian Mathematics Center has become one of the most important result of operation in more than a thousand scientific research activities of the China-Russian year of science technology innovation. Recently, three medalists F.M. Zeminov said, Mathematics is truly international and global. There is only one word mathematics. People in different countries work on the same problems, come to the same conclusion and learn from each other. Just as President Xi Jinping and President Putin hoped, we will try our best to contribute to a better and more friendly international environment for collaborations. Thank you very much.

***尊敬的克拉斯尼科夫總統、尊敬的來賓、女士們、先生們！***

我謹代表中俄數學中心對本屆世界大會的隆重召開表示熱烈祝賀，並祝愿本屆大會取得圓滿成功。 本屆世界大會告訴我們，數學是一切科學的普遍基礎，具有廣泛而深入的應用。 我們在一個特殊的時刻離開，信息革命即將來

臨。 這場革命植根於數學。 這場革命有時被稱為人工智能。 人工智能革命給全世界帶來了巨大的變化。 據我所知，機器學習幫助數學家獲得了新的數學、直覺，並成為了偉大的大師。 如您所知，機器學習幫助數學家獲得了新的數學直覺並取得了重大突破。 我們還需要開發更高效的人工智能數學理論。

中俄數學中心也在開展這方面的工作。 成立中俄數學中心是中國總理李克強在 2019 年向俄羅斯總理提出的，作為中俄科技創新年的一部分。 次年該中心成立。 過去幾年，特別是在全球新冠肺炎疫情大流行的背景下，中俄數學中心在發展國際合作與交流，特別是中俄數學家之間的合作與交流方面付出了很大的努力，取得了很多成果。 2021 年 11 月 26 日，普京總統表示，中俄數學中心的成立是中俄科技創新年千餘項研究活動中最重要的工作成果之一。 最近，三名獎牌獲得者 F.M. 澤米諾夫說：“數學是真正國際化、全球性的。”數學只有一個詞。 不同國家的人們解決同樣的問題，得出同樣的結論，互相學習。 我們將竭盡全力為營造更好、更友好的國際合作環境作出貢獻，這有利於發展習近平主席和普京總統優先考慮的國家間關係。 非常感謝！



**RAJAN**
***Ethirajan Govinda***

*Профессор,*
*Президент-основатель*
*Исследовательского центра*
*Pentagram*

*Professor of Signal Processing*
*Founder President*
*Pentagram Research Centre*

*信號處理教授*
*創始人 總裁*
*五角星研究中心*

***Уважаемый президент Российской академии наук, академики РАН и Математического института, Национальной академии наук Беларуси и других стран!***

Я представляю свою страну, Индию. Я профессор Раджан из Индии, председатель группы компаний Pentagram. Еще в 1984 году, когда я проводил исследования по русской математике, особенно по подходу Маркова и его нормальным алгоритмам, я был впечатлен его гипотезой потенциальной реализуемости бесконечности. Впоследствии я следовал концептуальной математической теории профессора Шеннона.

На основе почти 30-35 лет опыта работы именно в этой сфере, мне удалось создать новую парадигму или теорию и приложения символьных вычислений, которая составляет основу искусственного интеллекта. Мне удалось подготовить более 105 докторских диссертаций в Индии и в некоторых других странах.

От имени Оргкомитета Всемирного конгресса приветствую всех его участников. Как все вы знаете, в тематику Всемирного Конгресса входит теория систем, алгебраическая биология, искусственный интеллект, с упором на математические основы и приложения.

Помимо других крупных мероприятий, с сегодняшнего дня по 30 июня будут представлены около сотни пленарных докладов по тематике Конгресса. Я совершенно уверен, что все эти презентации откроют новые возможности для исследований среди академиков и ученых мирового уровня, ведущих к их конструктивному человеческому развитию и глобальной интеграции. Друзья, давайте все вместе работать над достижением этой цели.

Я еще раз поздравляю академиков и других специалистов Российской академии наук и других организаций с тем, что этот Всемирный Конгресс стал великой реальностью.

Большое спасибо!

***Dear President of the Russian Academy of Sciences, academicians of the Russian Academy of Sciences and the Mathematical Institute, the National Academy of Sciences of Belarus and other countries!***

I represent my country, India. I am Professor Rajan from India, Chairman of the Pentagram Group of Companies. Back in 1984, when I was doing research on Russian mathematics, especially on Markov's approach and his normal algorithms, I was impressed by his hypothesis of the potential realizability of infinity. Subsequently I followed Professor Shannon's conceptual mathematical theory.

Based on almost 30-35 years of experience in this particular field, I was able to create a new paradigm or theory and applications of symbolic computing, which forms the basis of artificial intelligence.

I have been able to prepare more than 105 doctoral dissertations in India and several other countries. On behalf of the Organizing Committee of the World Congress, I welcome all its participants. As you all know, the topics of the World Congress include systems theory, algebraic biology, artificial intelligence, with an emphasis on mathematical foundations and applications.

In addition to other major events, from today to June 30, about a hundred plenary reports on the topics of the congress will be presented. I'm very sure that all these presentations would open up new avenues for research among world-level academicians and scientists leading to their constructive human development and global integration. Friends, let's all work together to achieve this goal. I once again congratulate the academicians and other professionals of Russian Academy of Sciences and other organizations for making this world Congress a grand reality.

Thank you very much!

***尊敬的俄羅斯科學院院長、俄羅斯科學院和數學研究所、白俄羅斯國家科學院等各國院士！***

我代表我的國家印度。 我是來自印度的拉詹教授，五角星集團公司董事長。 早在 1984 年，當我研究俄羅斯數學，特別是馬爾可夫的方法和他的正常算法時，他關於無窮大的潛在可實現性的假設給我留下了深刻的印象。 隨後我遵循了香農教授的概念數學理論。

基於在這個特定領域近 30-35 年的經驗，我能夠創建符號計算的新範式或理論和應用，這構成了人工智能的基礎。

我在印度和其他幾個國家撰寫了超過 105 篇博士論文。 我謹代表世界大會組委會向所有與會者表示歡迎。 眾所周知，世界大會的主題包括系統論、代數生物學、人工智能，重點是數學基礎和應用。

除了其他重大活動外，從今天到 6 月 30 日，還將有約百場大會議題的全體報告。 我非常確信所有這些演講將為世界級院士和科學家開闢新的研究途徑，從而促進他們的建設性人類發展和全球一體化。 朋友們，讓我們共同努力，實現這個目標。 我再次祝賀俄羅斯科學院和其他組織的院士和其他專業人士使這次世界大會成為現實。

非常感謝！



***Игорь Иванович***
**РОГОВ**,

*Председатель Комиссии по правам человека при Президенте Республики Казахстан, доктор юридических наук, профессор*

***Уважаемые коллеги!***

От имени Комиссии по правам человека при Президенте Республики Казахстан, от имени юридической общественности Казахстана приветствую участников Всемирного конгресса, представляющих научные центры Российской Федерации, Республики Беларусь, Республики Казахстан, Республики Узбекистан, Республики Таджикистан, Китайской Народной Республики, Республики Индия и других стран.

Сказать, что тема Всемирного конгресса актуальна – ничего не сказать. Со всей определенностью можно утверждать, что в настоящий момент нет более актуальной тематики, способной объединить представителей различных отраслей знаний (биологии, математики, юриспруденции, политологии и многих других). Всестороннее исследование проблем, связанных с применением искусственного интеллекта чрезвычайно важно в современных условиях. Не случайно, как известно, Европейский союз уже сделал попытку законодательного оформления регулирования деятельности по созданию искусственного интеллекта.

Считаю, что предстоящая научная работа, которая наверняка оставит очень большой след в теории и в практике наших стран, будет иметь очень большое значение. В Республике Казахстан уделяется большое внимание вопросам цифровизации, создания и регулирования деятельности искусственного интеллекта и как мне представляется кооперирование интеграции усилий учёных будет иметь большой практический и теоретический эффект в различных странах и в первую очередь в Российской Федерации, Китае, Белоруссии, Индии.

Позвольте пожелать участникам Всемирного конгресса успешной и плодотворной работы по обозначенным проблемам.

***Dear Colleagues!***

On behalf of the Commission on Human Rights under the President of the Republic of Kazakhstan, on behalf of the legal community of Kazakhstan, I welcome the participants of the World Congress representing the scientific centers of the

Russian Federation, the Republic of Belarus, the Republic of Kazakhstan, the Republic of Uzbekistan, the Republic of Tajikistan, the People's Republic of China, the Republic of India and other countries.

To say that the topic of the World Congress is relevant is to say nothing. With all certainty, it can be argued that at the moment there is no more relevant topic that can unite representatives of various branches of knowledge (biology, mathematics, jurisprudence, political science and many others). A comprehensive study of the problems associated with the use of artificial intelligence is extremely important in modern conditions. It is no coincidence, as you know, that the European Union has already made an attempt to legislate the regulation of activities to create artificial intelligence.

I believe that the upcoming scientific work, which will certainly leave a very big mark on the theory and practice of our countries, will be of great importance. In the Republic of Kazakhstan, much attention is paid to the issues of digitalization, the creation and regulation of artificial intelligence, and it seems to me that the cooperation of the integration of the efforts of scientists will have a great practical and theoretical effect in various countries, and primarily in the Russian Federation, China, Belarus, and India.

Let me wish the participants of the World Congress successful and fruitful work on the identified problems.

***親愛的同事們！***

我代表哈薩克斯坦共和國總統領導下的人權委員會，代表哈薩克斯坦法律界，歡迎代表俄羅斯聯邦、白俄羅斯共和國、哈薩克斯坦共和國科學中心參加世界大會的與會者哈薩克斯坦、烏茲別克斯坦共和國、塔吉克斯坦共和國、中華人民共和國、印度共和國等國。

要說世界大會的主題是相關的，那就是無話可說。 可以肯定的是，目前沒有更相關的主題可以將不同知識分支（生物學、數學、法學、政治學等）的代表聯合起來。 在現代條件下，全面研究與人工智能使用相關的問題極其重要。 如您所知，歐盟已經嘗試對人工智能創造活動進行立法監管，這並非巧合。

我相信即將開展的科學工作必將在我們各國的理論和實踐中留下非常重要的印記，並且具有非常重要的意義。 在哈薩克斯坦共和國，數字化、人工智能的創造和監管問題受到高度關注，在我看來，科學家努力整合的合作將在各個領域產生巨大的實踐和理論效果。國家，主要是俄羅斯聯邦、中國、白俄羅斯和印度。

讓我祝愿世界大會的與會者就已確定的問題開展成功和富有成效的工作。



***Акмаль Холматович***
**САИДОВ**,

*Первый заместитель Спикера Законодательной палаты Олий Мажлиса Республики Узбекистан, академик Академии наук Узбекистана, доктор юридических наук, профессор*

***Уважаемый Председатель Всемирного конгресса! Уважаемые коллеги, дамы и господа!***

Свое выступление хочу начать со слов всемирно известного писателя, фантаста Айзека Азимова: «Сейчас – как раз то самое время, когда настоящее прямо на наших глазах превращается в будущее». Тема Всемирного конгресса обречена на будущее. Пользуясь случаем хочу поблагодарить организаторов за приглашение и предоставленную возможность выступить. Действительно в современных условиях развитие исследований и реализация прорыва к новому качеству технологического, научного, социально-экономического, политико-правового и культурно-гуманитарного развития приобретает стратегическое значение. Хочу подчеркнуть, что тема Всемирного конгресса выбрана удачно и намеченные к обсуждению вопросы очерчены весьма правильно. Искусственный интеллект может и должен пониматься многоаспектно: как прикладная компьютерная система, как область фундаментального научного знания, как предмет научного познания, как метод решения научных и прикладных задач, как признак технологический системы, наконец, как философская и юридико-этическая проблема. Тема Всемирного конгресса представляет большой интерес и для представителей общественных наук, в том числе и для правоведения.

В конце прошлого года по инициативе заместителя Президента Российской академии наук, академика Талии Ярулловны Хабриевой был проведен XII Международный конгресс сравнительного правоведения на тему «Технологические императивы и право», где были обсуждены юридические вопросы технологических императивов. Талия Ярулловна в своем установочном, методологически выверенным докладе указала на необходимость взаимодействия и координации представителей как общественных, так и естественных наук. Согласно отчету Всемирной организации интеллектуальной собственности, с 1956 по 2019 годы было опубликовано более 1,6 миллионов научных статей по тематике искусственного интеллекта как чисто компьютерно-технического и математического характера, так и иных предметностей как технических и естественно научных, так и гуманитарных наук. Как отмечает американский миллиардер Илон Маск: «Искусственный интеллект тот случай, когда нужно быть достаточно дальновидными в вопросах регулирования, иначе может оказаться слишком поздно». Именно поэтому искусственный интеллект не предвещает конец права, а предвещает новое начало. К сожалению, право существенно отстает от реалий в данном вопросе. На данный момент по всему миру

принято не менее сотни различных нормативных актов, посвященных этике искусственного интеллекта. В рекомендациях ЮНЕСКО об этических аспектах искусственного интеллекта отмечается, что технологии искусственного интеллекта способны принести человечеству огромную пользу, их преимуществами могут воспользоваться все страны. Вместе с тем подчеркивается, что технологии на основе искусственного интеллекта могут усугубить существующие в мире разногласия и неравенства как внутри стран, так и между ними. Цель рекомендаций ЮНЕСКО заложить основу, которая позволит использовать искусственный интеллект на благо всего человечества, отдельного человека, обществ, окружающей среды, экосистем и не допустит причинение им вреда.

В наших странах приняты правительственные решения по разработке вопросов регулирования искусственного интеллекта. В Узбекистане, как и в России принята программа мер по изучению и внедрению технологии искусственного интеллекта. Программой предусмотрена разработка стратегии развития искусственного интеллекта, начата подготовка кадров по специальности искусственный интеллект. Искусственный интеллект, компьютеры, роботы, машинное обучение, искусственные нейросети – это бывшие, не так давно прерогативы исключительно естественных и точных наук. Эти термины все больше входят в повседневную реальность. Технология искусственного интеллекта уже показала свою полезность. При этом и возможности ещё далеко не исчерпаны. Однако уже сейчас вполне заметны проблемы и риски, вызванные этой технологией. Представляется, что для оценки и выработки подходов к разрешению рисков в данном случае крайне важны философская этическая и правовая нормативная системы. Смена социокультурных стратегий, выражающаяся в трансформации ценностно-целевых структур современного общества, означает для юридической науки не просто изменение в конкретном объекте исследования, но и серьезные методологические корректировки ее предмета и метода. Как пишет английский писатель и физик-теоретик Стивен Хокинг: «Я боюсь, что искусственный интеллект сможет полностью заменить человека. Если люди могут создавать компьютерные вирусы, кто-то создаст искусственный интеллект, который сможет улучшать и воспроизводить себя. Он станет новой формой жизни, которая превзойдёт человечество». Он отмечает, что создание искусственного интеллекта может стать последним технологическим достижением человечества, если мы не научимся контролировать риски. Автор известной книги «Краткая история будущего» Юваль Харари заявил, что безэмоциональный искусственный интеллект заменит мировые правительства к 2030 году. Потенциал искусственного интеллекта намного больше, чем любая историческая революция. Это действительно биологическая революция – сказал Харари. Утверждая при этом, что до сих пор вся жизнь была органической, но скоро это перестанет быть таковым. Это по крайней мере представление о неорганических формах жизни. Это самое большое событие, которое произошло на земле за более чем 4 миллиардов лет назад.

В заключение своего краткого выступления хотел бы перефразировать высказывание великого русского патриота и реформатора Столыпина, который говорил: «Разрешить этого вопроса нельзя, надо его разрешать». Укажу, что поставить точку в научном осмыслении какой-либо проблемы, в частности, проблемы

искусственного интеллекта, особенно находящейся в динамике, невозможно. Однако промежуточные результаты вполне достижимы. Всемирный конгресс призван как подытожить, так и обобщить достигнутые достижения, а также наметить контуры, перспективы на будущее. Желаю успехов в работе Всемирного конгресса, а участникам здоровья и творческих побед в решении глобальных научных проблем! Благодарю за внимание!

***Dear Chairman of the World Congress!***
***Dear colleagues, ladies and gentlemen!***

I want to start my speech with the words of the world-famous science fiction writer Isaac Asimov: “Now is the very time when the present is turning into the future right before our eyes.” The theme of the World Congress is doomed to the future. I would like to take this opportunity to thank the organizers for the invitation and the opportunity to speak. Indeed, in modern conditions, the development of research and the implementation of a breakthrough to a new quality of technological, scientific, socio-economic, political, legal, cultural and humanitarian development is of strategic importance. I would like to emphasize that the theme of the World Congress has been chosen successfully and the issues to be discussed are outlined quite correctly. Artificial intelligence can and should be understood in many aspects: as an applied computer system, as a field of fundamental scientific knowledge, as a subject of scientific knowledge, as a method for solving scientific and applied problems, as a sign of a technological system, and finally, as a philosophical and legal and ethical problem. The topic of the World Congress is of great interest to representatives of the social sciences, including jurisprudence. At the end of last year, on the initiative of the Deputy President of the Russian Academy of Sciences, Academician Taliya Yarulovna Khabriyeva, the XII International Congress of Comparative Law was held on the topic "Technological imperatives and law", where the legal issues of technological imperatives were discussed. Taliya Yarulovna, in her introductory, methodologically verified report, pointed out the need for interaction and coordination of representatives of both social and natural sciences.

According to the report of the World Intellectual Property Organization, from 1956 to 2019, more than 1.6 million scientific articles were published on the subject of artificial intelligence, both of a purely computer-technical and mathematical nature, as well as other subjects, both technical and natural sciences, and the humanities. As the American billionaire Elon Musk notes: “Artificial intelligence is a case when you need to be far-sighted enough in matters of regulation, otherwise it may be too late.” That is why artificial intelligence does not portend the end of law, but portends a new beginning. Unfortunately, the law lags far behind the realities in this matter. At the moment, at least a hundred different regulations on the ethics of artificial intelligence have been adopted around the world. The UNESCO recommendations on the ethical aspects of artificial intelligence note that artificial intelligence technologies can bring enormous benefits to humanity, and all countries can benefit from them. At the same time, it is emphasized that technologies based on artificial intelligence can exacerbate the divisions and inequalities that exist in the world, both within and between countries. The purpose of the UNESCO recommendations is to lay the foundation that will allow the use of artificial intelligence for the benefit of all mankind, the individual, societies, the environment, ecosystems and will not allow them to be harmed. In our countries, government decisions have been made to develop issues of regulation of artificial intelligence. In Uzbekistan, as in Russia, a program of measures has been adopted to study and implement artificial intelligence technology. The program provides for the development of a strategy for the development of artificial intelligence, training of personnel in the specialty of artificial intelligence has begun. Artificial intelligence, computers, robots, machine learning, artificial neural networks - these are the

former, not so long ago, prerogatives of exclusively natural and exact sciences. These terms are increasingly becoming part of everyday reality. Artificial intelligence technology has already shown its usefulness. At the same time, the possibilities are far from being exhausted. However, the problems and risks caused by this technology are already quite noticeable.

It seems that in this case, philosophical, ethical and legal normative systems are extremely important for assessing and developing approaches to resolving risks. The change in sociocultural strategies, expressed in the transformation of the value-target structures of modern society, means for legal science not just a change in a particular object of study, but also serious methodological adjustments to its subject and method. As the English writer and theoretical physicist Stephen Hawking writes: “I am afraid that artificial intelligence can completely replace a person. If people can create computer viruses, someone will create artificial intelligence that can improve and reproduce itself. It will become a new form of life that will surpass humanity." He notes that the creation of artificial intelligence could be the last technological achievement of humanity if we do not learn how to control risks. Yuval Harari, author of the well-known book A Brief History of the Future, said that emotionless artificial intelligence will replace world governments by 2030. The potential of artificial intelligence is much greater than any historical revolution. This is truly a biological revolution, Harari said. While affirming that so far all life has been organic, but soon it will cease to be so. This is at least an idea of inorganic life forms. This is the biggest event that has happened on earth in over 4 billion years.

In conclusion of my brief speech, I would like to paraphrase the statement of the great Russian patriot and reformer Stolypin, who said: "This issue cannot be resolved, it must be resolved." I will point out that it is impossible to put an end to the scientific understanding of any problem, in particular, the problem of artificial intelligence, especially in dynamics. However, intermediate results are quite achievable. The World Congress is called upon both to summarize and generalize the achievements achieved, as well as to outline the contours and prospects for the future. I wish success in the work of the World Congress, and health and creative victories to the participants in solving global scientific problems! Thank you for attention!

***尊敬的世界大會主席！ 尊敬的同事們、女士們、先生們！***

我想用世界著名科幻小說作家艾薩克·阿西莫夫的話來開始我的演講：“現在正是現在正在我們眼前轉變為未來的時刻。” 世界大會的主題註定面向未來。 我想藉此機會感謝主辦方的邀請和發言的機會。 事實上，在現代條件下，研究的發展和實現技術、科學、社會經濟、政治、法律、文化和人道主義發展新質量的突破具有戰略重要性。 我想強調的是，世界大會的主題選擇得很成功，討論的問題也很正確。 人工智能可以而且應該從多個方面來理解：作為應用計算機系統、作為基礎科學知識領域、作為科學知識的學科、作為解決科學和應用問題的方法、作為技術系統的標誌、最後，作為一個哲學、法律和倫理問題。 包括法學在內的社會科學代表對世界大會的主題非常感興趣。 去年底，在俄羅斯科學院副院長塔莉婭·亞魯洛夫娜·哈布里耶娃院士的倡議下，召開了第十二屆國際比較法大會，主題為“技術必要性與法律”，會議討論了技術必要性與法律問題。討論了技術必要性。 塔利亞·亞魯洛夫娜（Taliya Yarulovna）在她的介紹性且經過方法驗證的報告中指出，社會科學和自然科學代表之間需要互動和協調。根據世界知識產權組織的報告，從 1956 年到 2019 年，關於人工智能主題的科學文章發表了超過 160 萬篇，既有純粹的計算機技術和數學性質，也有其他主題，既有技術性的，也有技術性的。以及自然科學和人文科學。

正如美國億萬富翁埃隆·馬斯克指出的那樣：“人工智能是一個需要在監管問題上具有足夠遠見的案例，否則可能就太晚了。” 這就是為什麼人工智能並不預示著法律的終結，

而是預示著一個新的開始。 不幸的是，在這個問題上，法律遠遠落後於現實。 目前，世界各地至少出台了一百項不同的人工智能倫理法規。聯合國教科文組織關於人工智能倫理方面的建議指出，人工智能技術可以給人類帶來巨大利益，所有國家都可以從中受益。 同時，人們強調，基於人工智能的技術可能會加劇世界上國家內部和國家之間存在的分歧和不平等。 聯合國教科文組織建議的目的是奠定基礎，使人工智能能夠造福全人類、個人、社會、環境、生態系統，並且不允許它們受到傷害。在我們國家，政府已決定制定人工智能監管問題。 與俄羅斯一樣，烏茲別克斯坦也採取了一項措施計劃來研究和實施人工智能技術。 《方案》規定制定人工智能發展戰略，人工智能專業人才培養工作已經啟動。 人工智能、計算機、機器人、機器學習、人工神經網絡——不久前，這些都是前純自然科學和精確科學的特權。 這些術語越來越成為日常生活的一部分。 人工智能技術已經顯示出它的用處。 與此同時，可能性還遠未耗盡。 然而，這項技術帶來的問題和風險已經相當明顯。

在這種情況下，哲學、倫理和法律規範體係對於評估和製定解決風險的方法似乎極其重要。 社會文化策略的變化表現為現代社會價值目標結構的轉變，這對法學來說不僅意味著特定研究對象的變化，而且意味著其主體和方法的重大方法論調整。

正如英國作家、理論物理學家史蒂芬·霍金所寫：“我擔心人工智能可以完全取代人。如果人們能夠創造出計算機病毒，那麼就會有人創造出能夠自我改進和復制的人工智能。它將成為一種超越人類的新生命形式。” 他指出，如果我們不學會如何控制風險，人工智能的創造可能是人類最後的技術成就。

著名著作《未來簡史》的作者尤瓦爾·赫拉利表示，到 2030 年，無情感的人工智能將取代世界各國政府。 人工智能的潛力比任何歷史革命都要大得多。 赫拉利說，這確實是一場生物革命。 儘管肯定到目前為止所有生命都是有機的，但很快它將不再如此。 這至少是一種無機生命形式的想法。 這是 40 億年來地球上發生的最大事件。

在結束我的簡短髮言時，我想轉述偉大的俄羅斯愛國者、改革家斯托雷平的一句話：“這個問題不能解決，必須解決”。 我要指出的是，不可能終止對任何問題的科學理解，特別是人工智能問題，尤其是在動力學方面。 然而，中間結果是完全可以實現的。 世界大會既要總結和概括所取得的成就，又要勾畫未來的輪廓和前景。 祝愿世界大會工作取得圓滿成功，祝與會人員在解決全球科學問題的過程中身體健康、取得創造性勝利！ 感謝您的關注！



**КАЛЯЕВ**
*Игорь Анатольевич,*

*академик РАН,*
*заместитель академика-секретаря Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН*

*academician of the RAS,*
*deputy academician Secretary of the Department of Energy, Mechanical Engineering, Mechanics and Control Processes of the RAS*

*俄羅斯科學院院士，副院士*
*俄羅斯科學院能源、機械工程、力學與控製過程部秘書*

***Уважаемые коллеги, дорогие друзья!***

Разрешите поприветствовать всех участников Конгресса от имени Отделения энергетики машиностроения, механики и процессов управления Российской академии наук. В настоящее время искусственный интеллект является одним из основных трендов мирового научно-технического развития. Технологии искусственного интеллекта находят всё более широкое применение в самых различных сферах человеческой деятельности, в том числе, в промышленном производстве, на транспорте, в энергетике, в области обороны и безопасности, то есть в тех сферах, за которые отвечают наше Отделение. В то же время всё чаще раздаются голоса тех учёных, которые считают, что дальнейшее развитие технологии искусственного интеллекта представляет большую опасность для всего человечества. И поэтому одна из важнейших проблем, на которую должно быть обращенного самое пристальное внимания участников нашего Конгресса, должна стать проблема доверия к искусственному интеллекту и безопасности его использования. Уверен, что проведение Конгресса позволит учёным, в том числе, и нашего Отделения не только представить свои научные результаты, но и почерпнуть новые идеи, по-новому взглянуть на стоящие перед нами научно-технические проблемы и предложить оригинальные пути их решения.

Ещё раз приветствую всех участников Конгресса и желаю вам плодотворной работы!

***Dear colleagues, dear friends!***

Allow me to greet all the participants of the Congress on behalf of the Department of Energy, Mechanical Engineering, Mechanics and Control Processes of the Russian Academy of Sciences. Currently, artificial intelligence is one of the main trends in the global scientific and technological development. Artificial intelligence technologies are increasingly being used in various areas of human activity, including industrial production, transport, energy, defense and security, that is, in those areas

for which our Department is responsible. At the same time, the voices of those scientists who believe that the further development of artificial intelligence technology poses a great danger to all mankind are increasingly heard. And therefore, one of the most important problems, which should be paid the closest attention of the participants of our Congress, should be the problem of trust in artificial intelligence and the safety of its use. I am sure that the Congress will allow scientists, including those of our Department, not only to present their scientific results, but also to get new ideas, take a fresh look at the scientific and technical problems facing us and offer original ways to solve them. Once again I welcome all participants of the Congress and wish you fruitful work!

***親愛的同事們、親愛的朋友們！***

請允許我代表俄羅斯科學院能源、機械工程、力學和控製過程部向大會全體與會者致意。 當前，人工智能是全球科技發展的主要趨勢之一。 人工智能技術越來越多地應用於人類活動的各個領域，包括工業生產、交通、能源、國防和安全，即我們部門負責的那些領域。 與此同時，那些認為人工智能技術的進一步發展對全人類構成巨大危險的科學家的聲音也越來越多。 因此，我們國會參與者應該密切關注的最重要的問題之一應該是對人工智能的信任及其使用的安全性問題。 我相信大會將讓科學家，包括我們系的科學家，不僅能夠展示他們的科學成果，而且能夠提出新的想法，重新審視我們面臨的科學技術問題，並提出解決這些問題的獨到方法。 。 再次對各位與會代表的到來表示歡迎，並祝愿你們的工作取得豐碩成果！



***Алексей Львович*** **Семенов**,
*академик РАН и РАО, член Бюро Отделения математических наук РАН*

***Уважаемые коллеги, дорогие друзья!***

В теме сегодняшнего Конгресса не случайно математика играет обобщающую роль для широкого спектра направлений. Я хотел бы сказать, что действительно многие современные исследования начались с математических работ. Если говорить об искусственном интеллекте и математической биологии, алгебраической биологии, то мы знаем, что основополагающие работы там были получены в прошлом веке Аланом Тьюрингом. И это заставляет нас вспомнить о том, что революция искусственного интеллекта, которая происходит сейчас, началась именно внутри математики, когда математики попытались точно математически описать модели рациональной деятельности человека, прежде всего внутри самой математики, если говорить об основаниях математики, об аксиоматике математики, о конструктивном подходе к математике.

Но потом это распространилось на всю интеллектуальную деятельность человека, сначала на рациональную деятельность в 50-е годы прошлого века, когда возникла соответствующая элементная база, на которой можно было смоделировать то, что придумали математики в абстрактной форме и потом распространилось на уже такую эвристическую деятельность человека, как игра шахматы, например, и распознавание лиц, происходящую на интуитивном уровне. Сегодня мы видим возникновение того, что можно было бы назвать креативным творческим искусственным интеллектом. Все это имеет своими основами и корнями именно математические исследования.

Революция искусственного интеллекта сопоставима по масштабам с человеческой речью и письменностью в истории человека. Мы видим, что изменения сегодня происходят так быстро, как никогда раньше не происходили, и, видимо, будут происходить еще быстрее в будущем, сегодня мы находимся в промежуточной точке, очень важной для развития всего человечества. Я хотел бы от лица академика-секретаря нашего Отделения математических наук РАН и от всего Отделения математических наук поздравить нас с прекрасным событием, поблагодарить председателя Конгресса президента РАН Геннадия Яковлевича Красникова, всех организаторов конгресса, их много раз называли и я не буду каждого из них сейчас именовать, пожелать успеха нам в нашей совместной работе, новых интересных открытий, обобщений, межпредметных связей, на которые в первую очередь ориентирован наш Конгресс.

От имени всего нашего Отделения математических наук РАН желаю

успеха! Спасибо большое.

***Dear colleagues, dear friends!***

In the topic of today's congress, it is no coincidence that mathematics plays a generalizing role for a wide range of areas. I would like to say that indeed a lot of modern research began with mathematical work. If we talk about artificial intelligence and mathematical biology of algebraic biology, then we know that the fundamental work there was obtained in the last century by Alan Turing. And this makes us remember that the revolution of artificial intelligence, which is taking place now, began precisely within mathematics, when mathematicians tried to accurately mathematically describe the models of rational human activity, primarily within mathematics itself, if we talk about the foundations of mathematics, about the axiomatics of mathematics, about constructive approach to mathematics. But then it spread to all human intellectual activity, first to rational activity in the 50s of the last century, when an appropriate element base arose on which it was possible to model what mathematicians came up with in an abstract form and then spread to already such heuristic human activity as a game chess, for example, and face recognition, occurring on an intuitive level. Today we are seeing the emergence of what could be called creative creative artificial intelligence. All this has its foundations and roots precisely in mathematical research.

The AI revolution is comparable in scale to human speech and writing in human history. We see that changes are taking place today as quickly as they have never happened before, and, apparently, they will happen even faster in the future, and today we are at an intermediate point, which is very important for the development of all mankind. On behalf of the Academician Secretary of our Department of Mathematical Sciences of the Russian Academy of Sciences and on behalf of the entire Department of Mathematical Sciences, I would like to congratulate us on a wonderful event, thank the Chairman of the Congress, President of the Russian Academy of Sciences Gennady Yakovlevich Krasnikov, all the organizers of the Congress, they were named many times and I will not name each of them now , wish us success in our joint work, new interesting discoveries, generalizations, interdisciplinary connections, which our Congress is primarily focused on.

On behalf of our entire Department of Mathematical Sciences of the Russian Academy of Sciences, I wish you success! Thanks a lot.

***親愛的同事們、親愛的朋友們！***

在今天大會的主題中，數學在廣泛的領域中發揮著普遍作用並非巧合。我想說，確實很多現代研究都是從數學工作開始的。 如果我們談論人工智能和代數生物學的數學生物學，那麼我們知道那裡的基礎工作是阿蘭·圖靈在上個

世紀取得的。 這讓我們記住，現在正在發生的人工智能革命正是在數學中開始的，當時數學家試圖準確地用數學方法描述人類理性活動的模型，主要是在數學本身中，如果我們談論數學的基礎的話，關於數學公理學，關於數學的建設性方法。 但後來它傳播到所有人類智力活動，首先是上世紀 50 年代的理性活動，當時出現了適當的元素基礎，可以在該元素基礎上以抽象形式對數學家的想法進行建模，然後傳播到已經這樣的領域。例如，人類的啟發式活動如國際象棋和人臉識別，都是在直覺層面上發生的。 今天，我們看到了所謂的創造性人工智能的出現。 這一切的基礎和根源恰恰在於數學研究。

AI 革命的規模堪比人類歷史上的人類言語和文字。 我們看到，今天的變化正在以前所未有的速度發生，而且顯然，未來會發生得更快，而今天我們正處於一個中間點，這對全人類的發展非常重要。 我謹代表我們俄羅斯科學院數學科學系院士秘書並代表整個數學科學系，祝賀我們舉辦瞭如此精彩的活動感謝大會主席、主席俄羅斯科學院根納季·雅科夫列維奇·克拉斯尼科夫，大會的所有組織者，他們被多次提及，我現在不會說出他們每個人的名字，祝我們在共同工作中取得成功，新的有趣的發現，概括，跨學科聯繫，我們的大會主要集中於.

**我代表俄羅斯科學院數學科學系全體人員祝愿您取得成功! 多謝。**



**КОЛЧАНОВ**
*Николай Александрович,*

*академик РАН,*
*член Бюро Отделения нанотехнолгий и информационных технологий РАН*

*Academician of the RAS,*
*Member of the Bureau of the Department of Nanotechnologies and Information Technologies of the RAS*

*俄羅斯科學院院士，*
*俄羅斯科學院納米技術與信息技術部主席團成員*

***Уважаемые коллеги, добрый день!***

Я хочу сказать, в том числе и как член РАН, работающий в Отделении нанотехнологий и информационных технологий, что тематика проходящего Конгресса великолепна и исключительно удачна. Как сказал академик А.Л. Семёнов в своем приветствии Конгрессу от лица Отделения математических наук РАН, Конгресс проходит в период бурного развития новых математических методов искусственного интеллекта и создания большого разнообразия программных систем, находящих широчайшее применение как для решения задач фундаментальной науки, так и для очень большого количества областей человеческой деятельности. В связи с этим можно утверждать, что тематика Конгресса имеет самое прямое отношение к задачам всех без исключения отделений РАН. Одним из ключевых событий, инициировавших в последние годы бурное развитие методов искусственного интеллекта, стала разработка новой архитектуры нейронных сетей, называемых трансформерами, ориентированных на обработку символьных последовательностей, включая тексты на естественных языках. Основная особенность трансформеров состоит в том, что порядок входных последовательностей при обработке не играет никакой роли, что обеспечивает широкие возможности для распараллеливания, позволяя производить глубокое обучение моделей сразу на терабайтах данных, за гораздо меньшее время, чем это было возможно раньше при классической архитектуре нейронных сетей. Отмечу несколько выдающихся достижений этого подхода. Важнейшее значение имеет создание качественных систем машинного перевода с одного естественного языка на другой.

Значение этого результата для науки, технологий, культуры, искусства, развития человеческих коммуникаций трудно переоценить.

На основе трансформерных моделей достигнут огромный успех в решении одной из центральных задач молекулярной биологии, над которой бились физики, химики, биологи в течение 60 лет, а именно в предсказании пространственной структуры глобулярных белков по их аминокислотным последовательностям. Для решения этой задачи была разработана нейронная сеть AlphaFold, предсказывающая 3D-координаты тяжелых атомов белков с точностью, близкой к экспериментальной. Сеть была обучена на сотнях тысяч белков с известной пространственной структурой и десятках миллионов аминокислотных последовательностей.

Благодаря методам машинного обучения, использующим трансформерные подходы, открылась возможность моделирования динамики сложных молекулярно-биологических структур, содержащих очень большое (до $10^9$) количество атомов. И эти результаты имеют огромное значение не только для фундаментальной науки, но и для широкого круга областей с громадным потенциалом фактического применения, таких как биотехнологии, генетика, медицина, фармакология, создание новых материалов и для множества других.

После 2017 года, когда появились первые публикации по трансформерным

технологиям, имеет место экспоненциальная динамика роста количества публикаций с использованием методов искусственного интеллекта.

Методы искусственного интеллекта находят широкое применение также и в решении задач нанотехнологий.

И ещё один подход к машинному обучению, получивший очень широкое распространение и сильное развитие в последние годы, – это графовые нейронные сети (GNN), которые на основе векторного представления вершин графов с учётом их локального окружения дают качественно новые возможности для анализа сложных сетевых структур. Применение GNN эффективно для описания, анализа и моделирования широчайшего круга сетевых систем как природных, так и антропогенных и технических: генных сетей, сетей межмолекулярных взаимодействий, сетей знаний, социальных сетей и других.

Отмечу еще одно важнейшее обстоятельство: в последние 15 лет в генетике произошёл информационный взрыв, обусловленный стремительным совершенствованием методов секвенирования геномов, а также мощным развитием других экспериментальных технологий изучения молекулярно-генетических основ функционирований живых систем. Генетика стала главным источником больших данных, перегнав по темпам роста все науки и технологии и даже социальные сети. Обработка, анализ и интерпретация потоков больших генетических данных требуют разработки современных методов искусственного интеллекта, ориентированных на живые системы. Собственно говоря, это и стало причиной того, что Институт цитологии и генетики Сибирского отделения РАН с большим удовольствием участвует в Конгрессе по теории систем и искусственному интеллекту.

Именно на основе начавшегося в настоящее время интенсивного сближения генетики и других наук о жизни, генерирующих огромные объёмы данных о самых тонких деталях структурно-функциональной организации живых систем, с одной стороны, и инженерии знаний, основанной на новых методах искусственного интеллекта, с другой, открываются уникальные возможности для понимания подходов к созданию природоподобных технологий, что является одной из важнейших задач современной науки. Сложность организации и функционирования живых систем исключительно велика. Характерные времена длительности процессов, протекающих в живых системах, отличаются, как минимум, на 20 и более порядков: от величин $\sim 10^{-10}$ секунд (продолжительность конформационной перестройки фермента) до времени жизни больших биологических объектов ($\sim 10^{10}$ секунд). И, собственно говоря, когда мы хотим создавать природоподобные объекты и технологии, нам необходимо учитывать, что все эти и огромное количество других характеристик живых объектов, записаны в их геномах.

С учетом сказанного понятно, что из рациональных соображений, основанных на базовых принципах фундаментальных наук, в настоящее время разрабатывать эффективные подходы к созданию природоподобных технологий исключительно сложно. Я думаю, что магистральный путь достижения этой важнейшей цели состоит в копировании природы, и важнейшим инструментом здесь должны быть методы машинного обучения, основанные на тех теориях искусственного интеллекта, которые ещё предстоит создать.

Ну и последнее. Следует подчеркнуть, что разворачивание в России широкомасштабных работ в области искусственного интеллекта, чему, как я понимаю, призван содействовать настоящий Конгресс, требует создания в Российской Федерации сети центров высокопроизводительных вычислений, основанных на последних поколениях графических процессоров, которые будут доступны широкому кругу пользователей. При отсутствии такой инфраструктуры массовое применение самых передовых методов искусственного интеллекта если и будет возможно, то лишь для ограниченного круга ученых и практиков, какой-то ограниченной элиты. Развитие сети указанных центров крайне важно.

И в решениях Конгресса хотелось бы видеть эту позицию.

Спасибо за внимание. Желаю успешной работы Конгресса!

***Dear colleagues!***

Personally and as a member of the Russian Academy of Sciences working in the Department of Nanotechnologies and Information Technologies, I am pleased to state that the subject matter of the Congress is outstanding and extremely relevant. As Academician A.L. Semenov said in his speech of greeting to the Congress on behalf of the Department of Mathematical Sciences of the Russian Academy of Sciences, the Congress is taking place on the background of a rapid development of new mathematical methods in artificial intelligence and the creation of a wide variety of software systems that are being widely used for addressing problems in fundamental science and many different areas of human activity. Thus, the subject matter of the Congress has relevance to all the branches of the Russian Academy of Sciences.

One of the key events that initiated the rapid development of artificial intelligence methods in recent years was the development of a new architecture of neural networks called transformers intended for processing character sequences, including texts in natural languages.

The main feature of the transformers is that the order in which the input sequences are processed does not matter any more, which provides ample opportunities for parallelization, allowing deep learning models to be trained with terabytes of data at once in much less time than it takes by the classical architecture of neural networks. Here are several outstanding achievements of this approach. The creation of high-quality machine translation systems enabling translation from one natural language to another is of utmost importance. The significance of this result for science, technology, culture, art, and human communications cannot be overestimated.

With transformer models, enormous progress has been achieved in addressing one of the central problems in molecular biology, which physicists, chemists, and biologists have been struggling with for 60 years, namely, predicting the spatial structure of globular proteins from their amino acid sequences. The neural network called AlphaFold predicts the 3D coordinates of heavy atoms of proteins with an accuracy close to experimental. The network was trained on hundreds of thousands of proteins with known spatial structure, and tens of millions of amino acid sequences.

Machine learning methods using transformer approaches have made it possible to simulate the dynamics of complex molecular biological structures containing a very large (up to $10^9$) number of atoms. These results are of great importance not only for fundamental science, but also for a wide range of areas with enormous potential for application in biotechnology, genetics, medicine, pharmacology, the development of new materials and many others.

Ever since 2017, when the first papers on transformer technologies became known, the number of publications using artificial intelligence methods has been growing exponentially.

Artificial intelligence methods are also widely used in addressing nanotechnology problems.

And another approach to machine learning, which has become very widespread and actively developed in recent years, is graph neural networks (GNNs), which provide all-new opportunities for analyzing complex network structures on the basis of the vector representation of graph vertices taking into account their local environment. The use of GNNs is effective for describing, analyzing and modeling a wide range of network systems, whether natural, anthropogenic or technical: gene networks, networks of intermolecular interactions, knowledge networks, social networks and others.

Now another important point to make: the past 15 years have witnessed an information explosion in genetics caused by a rapid improvement of genome sequencing methods, as well as impressive progress in other experimental technologies for studying the molecular and genetic basis of the functioning of living systems. Genetics has become the main source of big data increasing in

volume more rapidly than those in any other science, technology or even social network. Processing, analysis and interpretation of big genetic data flows require modern artificial intelligence methods focused on living systems. As a matter of fact, this is why the Institute of Cytology and Genetics of the SB RAS is participating in the Congress on Systems Theory and Artificial Intelligence – and with great pleasure.

Today's intense convergence of genetics and other life sciences, which generate huge volumes of data on the finest details of the structural and functional organization of living systems, on the one hand, and knowledge engineering based on new artificial intelligence methods, on the other, alll together provide unique opportunities for understanding how to create nature-like technologies, which is one of the most important tasks of modern science. The complexity of the organization and functioning of living systems is extremely great. The characteristic duration times of processes occurring in living systems differ by at least 20 or more orders of magnitude: from ~$10^{-10}$ seconds (the duration of the conformational rearrangement of an enzyme) to the lifetime of large biological objects (~$10^{10}$ seconds). So, when we want to create nature-like objects and technologies, we should keep in mind that all these and a huge number of other characteristics of living objects are recorded in their genomes.

Thus, it is clear that sole reliance on rational considerations that rest upon the basic principles of fundamental sciences is an extremely difficult way towards effective approaches that will lead us to nature-like technologies. In my opinion, the best way to achieve this by far most important goal is to copy from nature, and the most handy tools here are machine learning methods based on those artificial intelligence theories that have yet to be created.

One last thing. Large-scale artificial intelligence activity in Russia, which, as I understand, this Congress is intended to promote, will require a national network of high-performance computing centers based on the latest generations of graphics processors that will be available to a wide range of users. While such an infrastructure is not yet there, the mass application of the most advanced artificial intelligence methods, if any, will only be accessible by a limited range of scientists and practitioners, some elite, so to speak. The development of a network of such centers is extremely important. I propose that the Congress should include this point in the resolution.

Thank you for your attention. I wish the Congress successful work!

## *亲爱的同事们，大家下午好！*

作为在纳米技术和信息技术系工作的俄罗斯科学院成员，我很高兴想说的是，本届大会的主题是极好的，非常突出。正如刚才 A.L.Semenov 院士代表俄罗斯科学院数学科学系向大会致辞所说，大会是在新的人工智能数学方法蓬勃发展和各种软件系统的不断出现的背景下举行，这些软件系统正被广泛应用于解决基础科学问题和人类活动的诸多领域。在这方面，可以说，大会的主题几乎与俄罗斯科学院所有分支部门的任务都有关联。

近年来，推动人工智能方法迅速发展的关键事件之一是新型神经网络结构——Transformers 的开发，用于处理字符序列，包括自然语言中的文本。

Transformer 的主要特点是输入序列顺序在处理过程中不再重要，这为并行化提供了广泛的可能性，使深度学习模型能够在比经典神经网络架构更短的时间内对大数据进行训练。以下是该方法的几项杰出成就。如从一种自然语言到另一种自然语言的高质量机器翻译系统的建立极其重要，其对科学、技术、文化、艺术和人类交流的重要性不可估量。

基于 Transformer 模型，在解决分子生物学的核心问题之一上取得了巨大进展，这是物理学家、化学家和生物学家 60 年来一直在努力的，即通过其氨基酸序列预测球状蛋白的空间结构。为了解决这个问题，开发了一个神经网络 AlphaFold，它可以预测蛋白重原子的 3D

坐标，精度接近实验。该网络是在数十万具有已知空间结构的蛋白质和数以千万计的氨基酸序列上训练的。

使用 Transformer 方法的机器学习方法已经实现了对包含非常大量原子（高达 10^9）的复杂分子生物结构动力学的模拟。这些结果不仅对基础科学非常重要，而且对生物技术、遗传学、医学、药理学、新材料开发等有巨大应用潜力的广泛领域也至关重要。

自 2017 年第一篇 Transformer 技术的论文发表以来，使用人工智能方法的学术文章数量呈指数级增长。

人工智能方法也被广泛应用于解决纳米技术问题。

近年来，另一种得到广泛应用和发展的机器学习方法是图神经网络（GNNs），它基于图顶点向量表示并考虑局部环境，为分析复杂的网络结构提供了全新的机会。 使用 GNNs 可以有效地描述、分析和建模自然、人为和技术网络系统：基因网络、分子间相互作用网络、知识网络、社交网络等。

我想指出一个更重要的情况：过去的 15 年见证了遗传学信息爆炸性增长，这是由于基因组测序技术的迅速改进，以及研究生命系统分子遗传学基础的其他实验技术的惊人进展所引起的。遗传学已经成为增长速度比任何其他科学、技术甚至社交网络都要快的大数据的主要来源。处理、分析和解释大量基因数据流需要开发面向生命系统的现代人工智能技术。事实上，这就是为什么俄罗斯科学院西伯利亚分院细胞学和遗传学研究所非常高兴参加系统论与人工智能大会的原因。

如今，遗传学和其他生命科学的强烈融合，一方面产生了有关生命系统结构和功能组织最精细的海量数据，另一方面则借助新的人工智能方法进行知识工程建设，提供了解释创造类似于自然物体和技术的独特机会，这是现代科学中最重要的任务之一。生命系统组织和功能的复杂性是极大的，生命系统中的各种过程的特征持续时间至少相差 20 个或更多数量级：从~10^-10 秒（酶的构象重组的持续时间）到大型生物体的寿命（10^10 秒）。因此，当我们想要创建类似自然物体和技术时，我们应该记住，所有这些及生命物体的其他特性都记录在它们的基因组中。

考虑到这一点，很明显，仅仅依赖于基础科学的基本原理的理性思考，是一条非常困难的道路，不能带领我们朝着创造类似于自然物体和技术的有效方法迈进。在我看来，实现这个最重要的目标的最佳方式是模仿自然，而这里最方便的工具是基于尚未被创造的人工智能理论的机器学习方法。

最后，应该强调的是，本届大会旨在促进俄罗斯的大规模人工智能领域的工作，这将需要一个基于最新一代图形处理器的高性能计算中心的国家网络，供广大用户使用。目前这样的基础设施尚未完善，如果有的话，最先进的人工智能方法的大规模应用也仅会被局限在一定范围内的科学家和从业人员中。因此，建立这样一个中心网络是极其重要的。我建议将这一点写入大会决议。

感谢您的关注。祝大会工作顺利！



**ОСТРОВСКИЙ**
*Михаил Аркадьевич*

*академик РАН,*
*президент Российского физиологического общества им. И.П. Павлова,*
*заместитель академика-секретаря Отделения физиологических наук РАН*

*academician of the RAS,*
*President of the Russian Physiological Society named after I.P. Pavlova,*
*Deputy Academician-Secretary of the Department of Physiological Sciences of the RAS*

*以伊万·巴甫洛夫命名的俄羅斯生理學會主席，*
*俄羅斯科學院生理科學部副院士兼秘書*

***Уважаемые участники и организаторы Конгресса!***

От имени Отделения физиологических наук нашей академии, от имени Российского физиологического общества имени И.П. Павлова и от себя лично, я имею в виду академика В.А.Ткачука и себя, мы сердечно приветствуем участников и гостей Всемирного Конгресса.

На этот Конгресс собрались представители российской и зарубежной интеллектуальной элиты. Это действительно так. Отличительной чертой Конгресса является его междисциплинарность. Насыщенная программа Конгресса наполнена самыми актуальными проблемами современной науки, вопросами информационных технологий и искусственного интеллекта.

Важное место в работе Конгресса занимают актуальные проблемы современной физиологии, механизмы создания, обработки и передачи информации в живых системах, механизмы работы мозга, памяти, сознания.

Мы уверены, что залог успешной работы Конгресса, это дружественная атмосфера взаимопонимания, творчества и созидания, которые способствуют рождению новых идей, проектов, замыслов совместных исследований.

Мы желаем всем участникам Конгресса, плодотворной работы, новых идей, полезных контактов и профессиональных успехов.

Большое спасибо.

***Dear participants and organizers of the Congress!***

On behalf of the Department of Physiological Sciences of our Academy, on behalf of the Russian Physiological Society named after I.P. Pavlov and on my own behalf, I mean Academician V.A. Tkachuk and ourselves, we warmly welcome the participants and guests of the World Congress.

This Congress brought together representatives of the Russian and foreign intellectual elite. It really is. A distinctive feature of the Congress is its

interdisciplinarity. The rich program of the Congress is filled with the most pressing problems of modern science, information technology and artificial intelligence. An important place in the work of the Congress is occupied by topical problems of modern physiology, the mechanisms for creating, processing and transmitting information in living systems, the mechanism of the brain, memory, and consciousness. We are confident that the key to the successful work of the Congress is a friendly atmosphere of mutual understanding, creativity and creation, which contribute to the birth of new ideas, projects, ideas for joint research.

We wish all participants of the Congress fruitful work, new ideas, useful contacts and professional success.

Thank you very much.

## *尊敬的大會參與者和組織者！*

我代表我院生理科學系，代表俄羅斯生理學會 I.P. 巴甫洛夫和我本人指的是 V.A. Tkachuk 院士。 以及我們自己，我們熱烈歡迎世界大會的與會者和嘉賓。 這次代表大會匯集了俄羅斯和外國知識精英的代表。 確實如此。 大會的一個顯著特點是其跨學科性。 大會內容豐富，充滿了現代科學、信息技術和人工智能最緊迫的問題。 現代生理學的熱點問題，生命系統中信息的產生、處理和傳遞機制，大腦、記憶和意識的機制，在大會的工作中佔有重要地位。 我們相信，大會工作成功的關鍵是相互理解、創造力和創造的友好氣氛，這有助於產生新的想法、項目、聯合研究的想法。 我們祝愿大會所有與會者工作富有成果、新想法、有益的接觸和職業成功。

非常感謝。



***Талия Ярулловна***
**ХАБРИЕВА**,

*академик РАН,*
*заместитель*
*Президента РАН,*
*академик-секретарь*
*Отделения общественных*
*наук РАН,*
*Директор Института*
*законодательства и*
*сравнительного*
*правоведения при*
*Правительстве Российской*
*Федерации,*

***Глубокоуважаемые коллеги!***

Рада приветствовать участников научного форума столь высокого уровня, который организован в формате Всемирного конгресса. Этот статус нашей встречи подтверждается впечатляющим представительством областей знания и научных школ из разных стран. Такого рода диалог мировой научной элиты сейчас особенно важен, поскольку он служит одним из каналов, позволяющих сохранять механизмы интеграции усилий разных народов и стран для поиска адекватных ответов на глобальные вызовы современности, в обстоятельствах, осложненных международной турбулентностью и кризисом международной системы межгосударственного общения. Тема нашей встречи чрезвычайна актуальна. Она имеет не только междисциплинарное, но и во многом мировоззренческое значение. И то, что ее обсуждение проходит в Российской академии наук и под ее эгидой, подтверждает факт осознания научным сообществом степени важности доктринального осмысления заявленной проблематики, консолидации интеллектуальных ресурсов для ее освоения, достижения консенсуса при концептуализации исследовательских результатов.

Технологии искусственного интеллекта существенно меняют общество. Области их применения постоянно расширяются. Определяя сферы применения ИИ и готовясь к его полномасштабному внедрению в жизнедеятельность государства, нельзя забывать о социальных коллизиях его использования, антропологически негативных последствиях. Развитие технологий ИИ ставит на повестку дня вопросы о трансформации представлений о человеке, о фундаментальной неопределенности и нестабильности человеческого бытия, проблематизирует границы человека. Очевидно, что ИИ станет частью нашей жизни, однако распространение систем ИИ порождает ряд технических, философских, юридических и этических вопросов, связанных как с допустимостью применения таких систем, так и с необходимостью соблюдения этических норм при их создании и функционировании.

Бытует мнение, что естественный человек, идеологема естественного человека в цифровой цивилизации будет повержена, но не в прямом смысле. Интеллект обычного человека перестанет быть естественным в том смысле, в котором до сих пор это понимали, а станет качественно другим, мыслящим не в тех категориях, на которых основана культура гуманистической цивилизации. Группой зарубежных ученых («ИИ4 Народ, Научный Комитет» (AI4 People, the Scientific Committee) ведётся работа по созданию так называемого «Хорошего общества Искусственного Интеллекта», т.е. такого социума, в котором на благо человечества успешно сотрудничают ИИ и люди.

Можно с уверенностью утверждать, что ИИ не заменит человека, в руках которого должны быть сосредоточены средства контроля за ИИ, при этом оставаясь его верным и надежным помощником. Единственный для человечества способ избежать вырождения – принять на себя всю полноту ответственности и осознанно регулировать создание и использование ИИ, соблюдая при этом разумный баланс совместного существования. Ориентация ИИ на интересы человека, приоритет человеческих ценностей, заложенный в его основу, будет способствовать эффективному параллельному развитию естественной биологической и технической цивилизаций.

Уверена, что наш конгресс станет важным шагом в решении задач, стоящих перед наукой. Желаю нам плодотворной работы!

***Dear colleagues!***

I am glad to welcome the participants of such a high-level scientific forum, which is organized in the format of the World Congress. This status of our meeting is confirmed by the impressive representation of fields of knowledge and scientific schools from different countries. This kind of dialogue of the world scientific elite is now especially important, since it serves as one of the channels that allow maintaining the mechanisms for integrating the efforts of different peoples and countries to find adequate answers to the global challenges of our time, in circumstances complicated by international turbulence and the crisis of the international system of interstate communication. The topic of our meeting is extremely relevant. It has not only interdisciplinary, but also in many respects ideological significance. And the fact that its discussion is taking place in the Russian Academy of Sciences and under its auspices confirms the fact that the scientific community is aware of the degree of importance of doctrinal understanding of the stated issues, the consolidation of intellectual resources for its development, and the achievement of consensus in the conceptualization of research results. Artificial intelligence technologies are significantly changing society. Their areas of application are constantly expanding. Determining the areas of application of AI and preparing for its full-scale implementation in the life of the state, one should not forget about the social collisions of its use, anthropologically negative consequences. The development of AI technologies puts on the agenda questions about the transformation of ideas about a person, about the fundamental uncertainty and instability of human existence, problematizes the boundaries of a person. Obviously, AI will become part of our lives, but the spread of AI systems gives rise to a number of technical, philosophical, legal and ethical issues related to both the admissibility of using such systems and the need to comply with ethical standards in their creation and operation.

There is an opinion that the natural person, the ideologeme of the natural person in digital civilization will be defeated, but not in the literal sense. The intellect of an ordinary person will cease to be natural in the sense in which it has been understood so far, but will become qualitatively different, thinking not in the categories on which the culture of a humanistic civilization is based. A group of foreign scientists ("AI4 People, the Scientific Committee") is working to create the so-called "Good Society of Artificial Intelligence", i.e. such a society in which AI and people successfully cooperate for the benefit of humanity.

It is safe to say that AI will not replace a person in whose hands the means of controlling AI should be concentrated, while remaining its faithful and reliable assistant. The only way for humanity to avoid degeneration is to take full responsibility and consciously regulate the creation and use of AI, while maintaining a reasonable balance of coexistence. Orientation of AI to human interests, the priority of human values, which is its basis, will contribute to the effective parallel development of natural biological and technical civilizations.

I am sure that our congress will be an important step in solving the problems facing science. I wish us fruitful work!

***親愛的同事們！***

我很高興歡迎與會者參加這樣一個以世界大會形式舉辦的高級別科學論壇。 來自不同國家的知識領域和科學學校的令人印象深刻的代表證實了我們會議的這一地位。 世界科學精英的這種對話現在尤為重要，因為它是維持整合不同人民和國家努力的機制的渠道之一，以便在特定情況下找到應對我們時代全球挑戰的適當答案。國際動盪和國際國家間通訊體系的危機使情況變得更加複雜。 我們會議的主題非常相關。 它不僅具有學科交叉性，而且在很多方面具有思想意義。 事實上，它的討論是在俄羅斯科學院並在其主持下進行的，這一事實證實了這樣一個事實：科學界意識到對所陳述問題的理論理解、鞏固智力資源對其發展的重要性，以及在研究成果概念化方面達成共識。人工智能技術正在顯著改變社會。 它們的應用領域正在不斷擴大。 在確定人工智能的應用領域並為其在國家生活中全面實施做好準備時，我們不應忘記其使用所帶來的社會衝突以及人類學上的負面後果。 人工智能技術的發展將關於人的觀念轉變、關於人類存在的根本不確定性和不穩定性的問題提上議程，使人的界限成為問題。 顯然，人工智能將成為我們生活的一部分，但人工智能係統的傳播引發了許多技術、哲學、法律和倫理問題，這些問題與使用此類系統的可接受性以及在創建此類系統時遵守道德標準的需要有關和操作。

有一種觀點認為，數字文明中的自然人、自然人的意識形態將會被擊敗，但不是字面意義上的。 普通人的智力將不再是迄今為止所理解的自然智力，而是會變得質的不同，不再按照人文文明的文化所依據的範疇進行思考。 一群外國科學家（“AI4 People，科學委員會”）正在致力於創建所謂的“人工智能美好社會”，即人工智能與人類成功合作造福人類的社會。可以肯定地說，人工智能不會取代一個人，控制人工智能的手段應該集中在人手中，同時仍然是其忠實可靠的助手。 人類避免退化的唯一途徑是承擔全部責任，自覺規範人工智能的創造和使用，同時保持合理的共存平衡。 人工智能以人類利益為導向，以人類價值優先為基礎，將有助於自然生物文明與技術文明有效並行發展。我相信我們的大會將是解決科學面臨的問題的重要一步。 祝我們工作取得豐碩成果！



**ЛОБАЧЕВСКИЙ**
*Яков Петрович*

*академик РАН,*
*академик-секретарь*
*Отделения сельскохозяйственных наук РАН*

*academician of the RAS,*
*Academician-Secretary of the Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences*

*俄羅斯科學院院士，*
*俄羅斯科學院農業科學部院士兼秘書*

***Уважаемые коллеги!***

Разрешите всех приветствовать от имени отделения сельскохозяйственных наук РАН и, прежде всего, я хотел бы сердечно поблагодарить организаторов сегодняшнего форума за поистине колоссального работу. Конгресс охватывает огромное количество представителей научной общественности, ставит огромное количество проблем и, вообще, трудно себе представить, каким образом можно было это все объединить, организовать и прийти вот к сегодняшнему дню, поэтому огромное спасибо. Я хотел бы сказать, что сельское хозяйство, современное сельское хозяйство представляет собой площадку для соединения научных интересов и постановки проблем представителями различных научных и технических направлений. Сельское хозяйство сейчас является высокотехнологичной отраслю и тем полем, которое требует применения действительно современных технологий, цифровых технологий, искусственного интеллекта для существенного повышения эффективности и повышения безопасности работ, улучшения условий труда людей, работающих на различных технологиях в сельском хозяйстве. Но среди некоторых проблем можно выделить проблемы создания биомашинных систем, в которых соединяется взаимодействие живых организмов с техническими системами. Сейчас очень активно разрабатываются различные роботехнические устройства, которые применяются и в полеводстве, и в животноводстве, при переработке сельскохозяйственной продукции. Очень широко разрабатываются и применяются беспилотные наземные и беспилотные летательные системы. Они используются для проведения различных исследований начальных условий, проведения мониторинга производства различных высокоточных операций. Причем это позволяет очень быстро реагировать на изменяющиеся условия, предположим на появление каких-то болезней или вредителей сельскохозяйственных растений, и устранять эти угрозы. Практически происходит тотальный переход на автоматизированные и роботизированные системы и в растениводстве, и в животноводстве. Огромной проблемой является управление движением сельскохозяйственных агрегатов и управление

технологическими процессами. Практически ни одни операции не выполняются сейчас без предварительных исследований мониторинга состояния только после этого на основе цифровых технологий принимается решение и производятся необходимые технологические воздействия. Широко применяются интеллектуальные технологии и в селекционным процессе. Я хотел бы сказать, что нашими учеными совсем недавно подготовлены в первой редакции три госта по искусственному интеллекту в сфере растениводства, животноводства и переработки продукции при участии член-корр. РАН Годжаева Захида Адыгезаловича, он находится в этом зале, возможно, в своем докладе подробно об этом расскажет. Безусловно, этот комплекс проблем, а я назвал только небольшую часть проблем, невозможно решать без взаимодействия и соединения усилий с нашими коллегами из других Отделений РАН, наше Отделение активно сотрудничает с Отделением нанотехнологий, Отделениями физики, химии, физиологии и биологии, Отделением медицинских наук. Я думаю, что соединение усилий позволит нам получить, действительно, новый качественный результат и активно продвигаться в создании новых современных технологий, технических средств и, вообще, подходов к реализации научных достижений. От всей души желаю всем участником плодотворной работы тесного взаимодействия, приятного общения, желаю всем здоровья, спасибо!

***Dear Colleagues!***

Allow me to greet everyone on behalf of the Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences, and, first of all, I would like to sincerely thank the organizers of today's forum for a truly colossal work. The congress covers a huge number of representatives of the scientific community, poses a huge number of problems and, in general, it is difficult to imagine how it was possible to unite, organize and come to this day, so many thanks. I would like to say that agriculture, modern agriculture is a platform for connecting scientific interests and posing problems by representatives of various scientific and technical areas. Agriculture is now a high-tech industry and a field that requires the use of truly modern technologies, digital technologies, artificial intelligence to significantly increase the efficiency and safety of work, improve the working conditions of people working on various technologies in agriculture. But among some of the problems, one can single out the problems of creating biomachine systems that combine the interaction of living organisms with technical systems. Now various robotic devices are being actively developed, which are used both in field crops and in animal husbandry, in the processing of agricultural products. Unmanned ground and unmanned aerial systems are being developed and used very widely. They are used to conduct various studies of initial conditions, to monitor the production of various high-precision operations. Moreover, this allows you to respond very quickly to changing conditions, for example, to the appearance of some diseases or pests of agricultural plants, and eliminate these threats. In practice, there is a total transition to automated and robotic systems both in crop production and in animal husbandry. A huge problem is the control of the movement of agricultural units and the management of technological processes. Almost no operations are performed now without preliminary studies of condition monitoring, only after that a decision is made on the basis of digital technologies and the necessary technological effects are made. Intelligent technologies are also widely used in the selection process. I would like to say that

our scientists have recently prepared in the first edition three state papers on artificial intelligence in the field of crop production, animal husbandry and product processing with the participation of Corresponding Member. RAS Godzhaev Zakhid Adygezalovich, he is in this room, perhaps, in his report he will tell in detail about this. Of course, this set of problems, and I have named only a small part of the problems, cannot be solved without interaction and joint efforts with our colleagues from other RAS departments, our Department actively cooperates with the Department of Nanotechnology, the Departments of Physics, Chemistry, Physiology and Biology, and the Department of Medical Sciences. I think that the combination of efforts will allow us to get a truly new qualitative result and actively move forward in the creation of new modern technologies, technical means and, in general, approaches to the implementation of scientific achievements. With all my heart I wish all the participants fruitful work, close cooperation, pleasant communication, I wish everyone good health, thank you!

***親愛的同事們！***

請允許我代表俄羅斯科學院農業科學部向大家致以問候，首先我要衷心感謝今天論壇的組織者所做的巨大工作。 這次大會涵蓋了科學界的大量代表，提出了大量問題，總的來說，很難想像它是如何團結、組織並走到今天的，非常感謝。 我想說，農業、現代農業是各個科技領域代表連接科學利益、提出問題的平台。 農業現在是一個高科技產業和一個領域，需要使用真正的現代技術、數字技術、人工智能來顯著提高工作效率和安全性，改善從事農業各種技術的人們的工作條件。 但在其中一些問題中，我們可以挑出創建將生物體與技術系統的相互作用結合起來的生物機器系統的問題。 現在正在積極開發各種機器人設備，這些設備既用於大田作物，也用於畜牧業、農產品加工。 無人機地面和無人機系統正在開發和廣泛應用。 它們用於對初始條件進行各種研究，以監控各種高精度操作的生產。 此外，這使您能夠非常快速地應對不斷變化的條件，例如農業植物出現的某些疾病或害蟲，並消除這些威脅。 在實踐中，農作物生產和畜牧業都已全面過渡到自動化和機器人系統。 一個巨大的問題是農業單位流動的控制和技術流程的管理。 現在幾乎沒有任何操作是在沒有對狀態監測進行初步研究的情況下進行的，只有在數字技術的基礎上做出決定並產生必要的技術效果之後才進行。 智能技術在選品過程中也得到廣泛應用。 我想說的是，我們的科學家最近在第一版中準備了三位嘉賓，討論作物生產、畜牧業和產品加工領域的人工智能，俄羅斯科學院通訊院士戈德扎耶夫·扎希德·阿迪格扎洛維奇 Godzhaev Zakhid Adygezalovich 參加了會議，他是在這個房間裡，也許在他的詳細報告中就會講述這一點。 當然，這一系列問題，我只是列舉了一小部分問題，沒有與俄羅斯科學院其他部門同事的互動和共同努力才能解決，我係積極與納米技術系合作、物理系、化學系、生理學系和生物學系、醫學系。 我認為，共同努力將使我們獲得真正新的質的成果，並在創造新的現代技術、技術手段以及總體上實現科學成果的方法方面積極向前邁進。 衷心祝愿各位參會人員工作富有成效，密切合作，愉快溝通，祝大家身體健康，謝謝！



**ЧЕРНОИВАНОВ**
*Вячеслав Иванович*

*академик РАН,*
*вице-президент Российской*
*и Международной*
*инженерных академий*

*Academician of the RAS,*
*Vice-President of the Russian*
*and International Engineering*
*Academies*

*俄羅斯科學院院士，*
*俄羅斯和國際工程學院副院*
*長*

***Уважаемые коллеги, участники***
***и гости Конгресса!***

Разрешите сердечно приветствовать Вас в связи с открытием нашего научного Конгресса от лица ученых аграриев, Международной и Российской инженерных академий, участвующих в работе Конгресса, а также от лица Международного междисциплинарного семинара «Алгебраическая биология и теория систем», одного из основных организаторов нашего Конгресса.

В прозвучавших приветствиях наших выдающихся ученых, руководства, большое уделено внимание важнейшей роли фундаментальной науки и в том числе математике как её основе, хочу усилить внимание на акцент, заданный при открытии Конгресса в приветствии президента Российской Академии Наук академика РАН Красникова Г.Я., именно, на вопросе для чего нужна наука, искусственный интеллект и в конечном счете касающемся роли нашего Конгресса. Наш Конгресс направлен на решение задач, на которые неоднократно обращал внимание Президент России Путин Владимир Владимирович. РАН должна организовать надежную научную опору в развитии экономики страны, ее промышленности, сельского хозяйства, в развитии социальной сферы. При этом необходимо тесное взаимодействие с академиями наук Беларуси, Казахстана, Узбекистана, учеными Китая, Индии и других стран, в том числе, с учеными указанных стран, сделавшими доклады на нашем Конгрессе. Конгресс консолидирует внимание на вопросах касающихся производства продуктов питания и другой сельхозпродукции, требующейся стране. Здесь пересекаются наиболее общие вопросы человека и всего живого, среды обитания и воздействия на нее антропогенного фактора, подчеркну, что это область применения системного подхода, теории систем, являющейся основным предметом нашего Конгресса.

Около 10 лет назад нашей группой было осознанно, что традиционных эргатических систем человек-машина, функциональных систем П.К. Анохина, как наиболее глубокого подхода к живым организмам, разнообразных математических теорий систем, наиболее общее определение которых, дал академик Васильев С.Н., недостаточно, слишком велика специфика систем «человек - машина - продуктивное живое» и более общей триады «человек-

машина-живое», систем, названных биомашсистемами. Отмечу, что уже первая версия биомашсистемы содержала решатели с элементами сильного искусственного интеллекта, была опубликована в 2000 годы. Как известно, с 1960-х годов интеснивно развивается системное движение. Если не считать теории функциональных систем, возникшей и разрабатываемой П.К. Анохиным с 1920-х годов, в нашей стране интенсивному развитию научного системного подхода положила начало известная работа 1960 года, опубликованная в 8 номере Вопросов философии, одного из активнейших организаторов нашего Конгресса академика Лекторского В.А. в соавторстве с Садовским В.Н., собравшим и проанализировавшим более 30 определений и подходов к понятию системы, имевшихся в то время. Появление еще одного вида систем, биомашсистем, их несводимость к имеющимся определениям, конечно, надо было обосновать, для чего был разработан новый раздел теории категорий, адекватный формализации биомашсистем, проработаны основные имеющиеся подходы к понятию системы, результаты этой объёмной работы подытожены в выходящей в свет монографии «Основы теории биомашсистем». Взгляд на АПК как на глобальную биомашсистему «сельский социум - сельхозмашиностроение - продуктивное живое» вскрыл значительные резервы как материальные, так и организационные для разработки прорывных технологий интеллектуального оборудования столь необходимых в наше кризисное время.

Чтобы быть кратким, - существо биомашсистем представлено в нашем докладе на Конгрессе, - остановлюсь на одном из направлений теории биомашсистем, новой парадигме для проектирования сельскохозяйственных машин и оборудования. Системообразующий фактор биомашсистемы диктует в качестве основного требования к машине её функцию в создании для живого условий для того варианта экспрессии генов, который заложен селекционером в геноме и паспорте сорта или породы. Конструктору необходимо учитывать не только потребности продуктивного живого, отвечающие геному, но и учитывать другие параметры влияния на развитие живого для получения максимального результата.

В заключение, коснусь истории нашего Конгресса, еще в 2013 году группа энтузиастов провела первую конференцию по тематике Конгресса, а далее эта работа получила свое развитие, был организован постоянно действующий семинар «Алгебраическая биология и теория систем», журнал «Биомашсистемы». Среди энтузиастов этих мероприятий Толоконников Г.К., Судаков С.К., Петухов С.В. и другие ученые, математики, физиологи, биологи.

Уважаемые коллеги, желаю нам плодотворной работы на Конгрессе, надеюсь, что он принесёт всем нам – участникам Конгресса - удачу каждому!

***Dear colleagues, participants and guests of the Congress!***

Let me cordially welcome you on behalf of the opening of our scientific Congress on behalf of agricultural scientists, international and Russian engineering academies participating in the Congress, as well as on behalf of the International Interdisciplinary Seminar “Algebraic Biology and Systems Theory,” one of the main organizers of our Congress. In the greetings of our outstanding scientists and leadership, much attention was paid to the most important role of fundamental science, including mathematics as its basis, I would like to emphasize the emphasis given at the opening of the Congress in the greeting of the President of the Russian Academy of Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences G.Ya., namely , on the question of what science is for, artificial intelligence, and ultimately concerning the role of our Congress. Our Congress is aimed at solving problems that Russian President Vladimir Vladimirovich Putin has repeatedly drawn attention to. The RAS must organize a reliable scientific support in the development of the country's economy, its industry, agriculture, and in the development of the social sphere. At the same time, close interaction is necessary with the academies of sciences of Belarus, Kazakhstan, Uzbekistan, scientists from China, India and other countries, including with scientists from these countries who made reports at our Congress. The Congress is consolidating its attention to issues related to the production of food and other agricultural products required by the country. This is where the most general issues of humans and all living things, the environment and the impact of anthropogenic factors on it intersect. I would like to emphasize that this is the area of application of the systems approach, systems theory, which is the main subject of our Congress.

About 10 years ago, our group realized that the traditional ergatic man-machine systems, functional systems of P.K. Anokhin, as the most profound approach to living organisms, various mathematical theories of systems, the most general definition of which was given by Academician S.N. Vasiliev, is not enough, the specificity of the systems “man - machine - productive living” and the more general triad “man-machine” are too great -living”, systems called biomachine systems.

I note that already the first version of the biomachine system contained solvers with elements of strong artificial intelligence and was published in 2000. As is known, since the 1960s the systemic movement has been developing intensively. Apart from the theory of functional systems, which arose and was developed by P.K. Anokhin since the 1920s, in our country, the intensive development of the scientific systems approach was initiated by the famous work of 1960, published in the 8th issue of Questions of Philosophy, by one of the most active organizers of our Congress, Academician V.A. Lektorsky. in collaboration with V.N. Sadovsky, who collected and analyzed more than 30 definitions and approaches to the concept of a system that were available at that time. The emergence of another type of system,

biomachine systems, their irreducibility to existing definitions, of course, had to be justified, for which a new section of category theory was developed, adequate to the formalization of biomachine systems, the main available approaches to the concept of a system were worked out, the results of this voluminous work are summarized in the published monograph “Fundamentals of the theory of biomachine systems.” A look at the agro-industrial complex as a global biomachine system “rural society - agricultural machinery - productive living” has revealed significant reserves, both material and organizational, for the development of breakthrough technologies of intelligent equipment that are so necessary in our times of crisis. To be brief - the essence of biomachine systems is presented in our report at the Congress - I will dwell on one of the areas of the theory of biomachine systems, a new paradigm for the design of agricultural machines and equipment. The system-forming factor of the biomachine system dictates as the main requirement for the machine its function in creating living conditions for the variant of gene expression that is laid down by the breeder in the genome and passport of the variety or breed. The designer must take into account not only the needs of productive living things that meet the genome, but also take into account other parameters of influence on the development of living things in order to obtain maximum results. In conclusion, let me touch on the history of our Congress: back in 2013, a group of enthusiasts held the first conference on the topics of the Congress, and then this work was developed, a permanent seminar “Algebraic biology and systems theory” was organized, the journal “Biomasssystems” was organized. Among the enthusiasts of these events are Tolokonnikov G.K., Sudakov S.K., Petukhov S.V. and other scientists, mathematicians, physiologists, biologists.

Dear colleagues, I wish us fruitful work at the Congress, I hope that it will bring good luck to all of us - the participants of the Congress!

## *尊敬的各位同事、與會者、大會嘉賓！*

請允許我代表我們科學大會的開幕，代表參加大會的農業科學家、國際和俄羅斯工程學院，以及代表國際跨學科研討會“代數生物學與系統論”之一的國際跨學科研討會，向大家表示歡迎。我們大會的主要組織者。

在我們傑出的科學家和領導層的問候中，人們高度重視基礎科學最重要的作用，包括作為其基礎的數學，我想強調在大會開幕時在美國總統的問候中所強調的重點。俄羅斯科學院院士 G.Ya.，即關於科學為何物、人工智能以及最終關於我們國會的作用的問題。

我們的國會旨在解決俄羅斯總統弗拉基米爾·弗拉基米羅維奇·普京一再提請注意的問題。

俄羅斯科學院必須為國家經濟、工業、農業和社會領域的發展提供可靠的科學支持。 同時，要與白俄羅斯、哈薩克斯坦、烏茲別克斯坦的科學院，中

國、印度等國的科學家，包括在我們大會上做報告的這些國家的科學家進行密切的互動。

國會正在集中關注與國家所需的糧食和其他農產品生產相關的問題。 這是人類和所有生物、環境以及人為因素對其影響的最普遍問題的交叉點。我想強調的是，這是系統方法、系統理論的應用領域。我們國會的主要議題。

大約 10 年前，我們小組意識到傳統的活動人機系統、P.K.的功能係統。阿諾欣作為研究生物體最深刻的方法，各種系統數學理論（其中最普遍的定義是由 S.N. Vasiliev 院士給出的）是不夠的，系統“人- 機器- 生產性生活”的特殊性以及更多一般三合會“人機”太偉大了，系統稱為生物機器系統。

我注意到生物機器系統的第一個版本已經包含具有強大人工智能元素的求解器，並於 2000 年發布。 眾所周知，自 20 世紀 60 年代以來，系統性運動一直在密集發展。 除了由 P.K. 提出並發展的功能係統理論之外。 自 20 世紀 20 年代以來，在我國，科學系統方法的深入發展始於 1960 年的著名著作，該著作發表在第 8 期《哲學問題》上，作者是我們大會最活躍的組織者之一，V.A. Lektorsky 院士。 。 與 V.N. Sadovsky 合作，他收集並分析了當時可用的 30 多個系統概念的定義和方法。 另一種類型的系統——生物機器系統的出現，當然，它們對現有定義的不可約性，必須得到證明，為此開發了一個新的範疇論部分，足以對生物機器系統進行形式化，這是生物機器系統的主要可用方法系統的概念已經制定出來，這項大量工作的成果在已出版的專著《生物機器系統理論基礎》中進行了總結。 將農工綜合體視為“農村社會-農業機械-生產性生活”的全球生物機器系統，揭示了我們時代所必需的智能裝備突破性技術開發的巨大物質和組織儲備。危機。簡而言之 - 生物機器系統的本質已在我們在大會上的報告中介紹 - 我將詳細討論生物機器系統理論的一個領域，即農業機械和設備設計的新範式。生物機器系統的系統形成因素規定了機器的主要要求即其為基因表達變體創造生存條件的功能，這些基因表達變體是由育種者在品種或品種的基因組和護照中確定的。 設計者不僅要考慮符合基因組的生產性生物的需求，還要考慮影響生物發育的其他參數，以獲得最大的結果。

最後，讓我談談我們大會的歷史：早在 2013 年，一群愛好者就大會的主題召開了第一次會議，然後這項工作就展開了，一個常設研討會“代數生物學和系統論”組織了《生物質系統》雜誌。 這些活動的愛好者包括 Tolokonnikov G.K.、Sudakov S.K.、Petoukhov S.V.。 以及其他科學家、數學家、生理學家、生物學家。

尊敬的同事們，預祝我們在大會上的工作取得豐碩的成果，希望給我們所有的與會者—大會的參與者帶來好運！



**ЕРШОВ**
*Юрий Леонидович,*
*академик РАН*
*сопредседатель*
*Оргкомитета Конгресса*

*Academician of the RAS*
*co-chairman of the Congress*
*Organizing Committee*

*俄羅斯科學院院士*
*大會組委會聯合主席*



**ГОНЧАРОВ**
*Сергей Савостьянович*

*академик РАН*
*сопредседатель*
*Оргкомитета Конгресса*

*Academician of the RAS*
*co-chairman of the Congress*
*Organizing Committee*

*俄羅斯科學院院士*
*大會組委會聯合主席*

***Уважаемые коллеги!***

Организация Всемирного Конгресса «Теория систем, алгебраическая биология, искусственный интеллект: математические основы и приложения» является достаточно своевременным. Исследования в области ИИ являются в настоящее время основной движущей силой развития новых технологий в самых различных областях. Однако, заменяя рутинную человеческую деятельность Искусственный Интеллект должен оставаться понятным и дружественным человеку. Для этого нужны фундаментальные исследования как человеческой природы, так и формальных и математических методов ее описания. Например, ЮНЕСКО объявил Всемирный день логики: «логика как научная дисциплина оказалась как никогда прежде востребованной в обществе и экономике наших стран. Так, информационные и цифровые технологии, во многом определяющие сегодня наш образ жизни, построены на основе логических суждений и алгоритмов».

Одним из важнейших фундаментальных понятий ИИ является, с нашей точки зрения, понятие «задача». Впервые понятие «задача» использовал для построения математической семантики интуиционистского исчисления предикатов академик А.Н.Колмогоровым. Значительный прогресс в развитии задачного подхода был получен академиком Ю.Л.Ершовым и д.ф.н. К.Ф.Самохваловым при анализе оснований математики и программы Гильберта. Ими было установлено, что осмысленно говорить о задаче можно только тогда, когда есть критерий ее решенности.

Параллельно с исследованиями в области оснований математики в Институте математики СО РАН началась работа и по применению задачного подхода к решению задач искусственного интеллекта. Представленная в настоящем издании

статья «Задачный подход: на пути к доверительномуискусственному интеллекту», может рассматриваться как своеобразный отчет ***Сибирской школы искусственного интеллекта*** о представленной авторами концепции.

Успешность задачного подхода базируется на удачно выбранной авторами концепции семантической модели вычислимости, основу которой составляет формульная определимость. Следует почеркнуть, что предложенная семантическая модель вычислимости, рассматривает в качестве своей математической основы теорию конструктивных моделей и списочных надстроек над ними, опиралась на достижения сибирской логико-алгебраической школы, созданной академиком А.И.Мальцевым. В те же 80-е годы задачный подход был применен для создания логико-математической теории семантического программирования, ориентированной на проблему автоматического решения интеллектуальных задач с помощью исполнимых спецификаций задач (академики РАН Гончаров С.С. и Ершов Ю.Л., д.ф.-м.н. Свириденко). Предложенная семантическая модель вычислимости допускала эффективное использование внешних вычислителей – оракулов, в роли которых могут выступать, например, искусственные нейронные сети. Отметим, что выбор того или иного способа решения задачи часто связан с прогнозом достижимости решения, что влечет за собой необходимость эффективного синтеза логических рассуждений и вероятностного вывода. В задачном подходе прогноз достижимости решения задачи был осуществлен с помощью специального семантического вероятностного вывода (д.ф.-м.н. Витяев Е.Е., д.ф.-м.н. Одинцов С.П.), который также может рассматриваться как вероятностное вычисление на модели. Существенный вклад в развитие задачного подхода внес подход академика С.С. Гончарова, д.ф.-м.н. Д.И. Свириденко и к.ф.-м.н. А.В. Нечесова к оценке работы систем принятия решений и управления сложными физическими системами. Также д.ф.-м.н. Витяевым, д.ф.-м.н. Манциводой и директором компании В.Ш. Гумировым были разработаны программные реализации (платформы) для решения широкого круга прикладных задач.

## *Dear colleagues!*

The organization of the World Congress "Systems Theory, Algebraic Biology, Artificial Intelligence: Mathematical foundations and Applications" is quite timely. AI research is currently the main driving force behind the development of new technologies in a wide variety of fields. However, replacing routine human activity, Artificial Intelligence should remain understandable and friendly to humans. This requires fundamental research of both human nature and formal and mathematical methods of its representation. For example, UNESCO declared World Logic Day: "Logic as a scientific discipline has proved to be in demand in society and the

economy of our countries as never before. Thus, information and digital technologies, which largely determine our way of life today, are built on the basis of logical statements and algorithms."

One of the most important fundamental concepts of AI is, from our point of view, the concept of "task". For the first time, academician A.N.Kolmogorov used the concept of "task" to construct the mathematical semantics of intuitionistic predicate calculus. Significant progress in the development of the task approach was obtained by academician Yu.L.Yershov and Dr.Sci. K.F.Samokhvalov in the analysis of the foundations of mathematics and the Hilbert program. They found that it is possible to talk meaningfully about a task only when there is a criterion for its solution.

In parallel with the research in the field of foundations of mathematics at the Institute of Mathematics of the SB RAS, work began on the application of a task-based approach to solving artificial intelligence problems. The article presented in this collection, "The Task approach: on the way to trusting artificial intelligence", can be considered as a kind of report of the Siberian School of Artificial Intelligence on the concept presented by the authors.

The success of the task approach is based on the well-chosen concept of the semantic model of computability, which is based on the formula definiteness. It should be noted that the proposed semantic model of computability, considering as its mathematical basis the theory of constructive models and list superstructures over them, was based on the achievements of the Siberian logical-algebraic school created by academician A.I. Maltsev. In the same 80s, the task approach was applied to create a logical-mathematical theory of semantic programming focused on the problem of automatic solution of intellectual problems using executable task specifications (academicians of the Russian Academy of Sciences Goncharov S.S. and Ershov Yu.L., Dr.Sci. Sviridenko). The proposed semantic model of computability allowed for the effective use of external calculators – oracles, in the role of which, for example, artificial neural networks can act. Note that the choice of one or another way of task solving is often associated with the prediction of the achievability of the solution, which entails the need for an effective synthesis of logical reasoning and probabilistic inference. In the task approach, the forecast of the achievability of the task solution was carried out using a special semantic probabilistic inference (Dr.Sci. Vityaev E.E., Dr.Sci. Odintsov S.P.), which can also be considered as a probabilistic calculation on the model. A significant contribution to the development of the task approach was made by Academician S.S. Goncharov, Dr.Sci. D.I. Sviridenko, and A.V. Nechesov to evaluate the work of decision-making systems and management of complex physical systems. Also, Dr.Sci. Vityaev, Dr.Sci. Mantsivoda, and Director of the company V.S. Gumirov developed software implementations (platforms) for solving a wide range of applied tasks.

## *親愛的同事們！*

“系統論、代數生物學、人工智能：數學基礎與應用”世界大會的組織非常及時。 人工智能研究是目前各個領域新技術發展的主要驅動力。 然而，人工智能在取代人類日常活動時必須保持易於理解和人性化。 這需要對人性以及描述人性的形式和數學方法進行基礎研究。 例如，聯合國教科文組織宣布世界邏輯日：“事實證明，邏輯作為一門科學學科，在我們各國的社會和經濟中比以往任何時候都更加需要。 因此，很大程度上決定我們今天生活方式的信息和數字技術是建立在邏輯判斷和算法的基礎上的。”

從我們的角度來看，人工智能最重要的基本概念之一是“任務”的概念。 A.N. Kolmogorov 院士首次使用“任務”的概念來構建直覺謂詞演算的數學語義。 語言學博士 Yu.L. Ershov 院士在基於問題的方法的發展方面取得了重大進展。 K.F. Samokhvalov 在分析數學基礎和希爾伯特綱領時。 他們發現，只有當問題的解決方案存在標準時，才有可能對問題進行有意義的討論。

在數學基礎領域研究的同時，俄羅斯科學院 SB 數學研究所開始致力於應用基於問題的方法來解決人工智能問題。 本合集中的文章“基於任務的方法：通往可信人工智能的道路”可以被視為西伯利亞人工智能學院對作者提出的概念的報告。

該問題方法的成功基於作者成功選擇的可計算性語義模型的概念，其基礎是公式可定義性。 應該強調的是，所提出的可計算性語義模型以構造模型理論及其上層結構的列表為數學基礎，是基於 A.I. Maltsev 院士創建的西伯利亞邏輯代數學派的成就。 在同一個 80 年代，問題方法被用來創建語義編程的邏輯數學理論，重點關注使用可執行任務規範自動解決智力問題的問題（RAS 院士 Goncharov S.S. 和 Ershov Yu.L. 博士）。 .-數學科學 Sviridenko）。 所提出的可計算性語義模型允許有效使用外部計算機 - 預言機，例如人工神經網絡。 請注意，選擇一種或另一種解決問題的方法通常與解決方案可實現性的預測相關，這需要有效綜合邏輯推理和概率推理。 在問題方法中，使用特殊的語義概率推理（Vityaev E.E. 博士、Odintsov S.P. 博士）對解決問題的可實現性進行預測，這也可以視為模型上的概率計算。 S.S. 院士的方法對基於問題的方法的發展做出了重大貢獻。 Goncharova，物理和數學科學博士 DI。 斯維里登科和博士 AV Nechesov 評估複雜物理系統的決策和控制系統的運行情況。 也是物理和數學科學博士 Vityaev，物理和數學科學博士 Mantivoda 和公司董事 V.Sh. 古米洛夫開發了軟件實現（平台）來解決廣泛的應用問題。



**ПЕРЦОВ**
*Сергей Сергеевич*

*член-корр. РАН,*
*директор НИИ нормальной физиологии им. П.КА.Анохина*

*corr.-member RAS,*
*Director of the Research Institute of Normal Physiology named after P.K. Anokhin*

*通訊員 拉斯，*
*正常生理研究所所長*
*阿諾希納*

***Уважаемые коллеги!***

Разрешите мне от себя лично и от имени Инстута нормальной физиологии имени Петра Кузьмича Анохина поприветствовать участников Конгресса. Но в начале приветствия я хотел бы сделать акцент на теории систем, на той фразе, которая звучит в самом начале названия Конгресса. Теория систем является научной и методологической концепцией исследования объектов, которые представляют собой системы. Она была разработана Берталанфи. Я позволю себе напомнить, еще в 37-м году прошлого века, она была впервые доложена на Чикагском семинаре по философии. Но мало кому известно, что в общем-то задолго еще до Берталанфи в начале 20-го века. Владимир Бехтерев, выдающийся русский физиолог, обосновал двадцать три универсальных закона, которые действует как в органическом мире и природе, так и в сфере социальных отношений. И он тогда как раз распространил эти законы на психические и на социальные процессы. Это, конечно, особенно актуально сейчас. В плане сегодняшнего нашего конгресса. Я не могу не вспомнить здесь в своем приветствии еще одного человека, который внес огромный вклад в развитие теории систем.

Это ученик, академика Иван Петровича Павлова, академик Петр Кузьмич Анохин. Он в продолжении разработки системного подохода сформулировал теорию функциональных систем. Она явилась революционной. В общем-то, потому, что при переходе от органного к системному принципу организации жизнедетельности, эта теория позволила сделать очень большую такую революцию и не только в медицине, не только в физиологии, но также и для понимания многих законов организации природы и общества. Ну и, конечно говоря, об искусственном интеллекте, я считаю, что сегодняшний Конгресс, на самом деле, очень важен, очень актуален. Он позволяет фактически связать теорию систем, общую теорию системы Берталанфи, другие теории систем, которые были сформулированы нашими соотечественниками и зарубежными исследователями, с самой проблематикой искусственного интеллекта. Потому что, как очень многие знают и помнят, за последние 5 лет сделан огромный прорыв в данном направлении. Руководство России и лично Президент

Владимир Владимирович Путин поставили очень серьезные и сложные задачи на пути развития не просто искусственного интеллекта, а сильного искусственного интеллекта. Это совершенно новая ступень в понимании данного вопроса. Среди участников сегодняшного конгресса, я хотел бы отметить, присутствует не только математики, не только люди, которые занимаются данной тематикой непосредственно с точки зрения физики и математики, теории систем, но также и нейробиологи, физиологи, представители медицинны. Мне кажется, это очень правильно, это очень хорошо, потому что в понимание, в развитие проблем искусственного интеллекта вклад людей, класс специалистов, занимающихся медико-биологическими проблемами, не может быть недооценен. И опять же, мне очень приятно то, что организатор конгресса Российская академия наук, выделила в отдельный день, в отдельную секцию, вопросы фундаментальной физиологии и медицины, понимая важность и роль нейробиологов и физиологов в разработке этих проблем. Я хотел бы в конце своего приветствия искренне пожелать всем участникам конгресса больших успехов, плодотворного сотрудничества и, конечно, междисциплинарных, хороших контактов при реализации этого мероприятия. Спасибо за внимание.

***Dear Colleagues!***

Allow me, on my own behalf and on behalf of the Pyotr Kuzmich Anokhin Institute of Normal Physiology, to greet the participants of the Congress. But at the beginning of the greeting, I would like to focus on systems theory, on the phrase that sounds at the very beginning of the name of the Congress. Systems theory is a scientific and methodological concept of the study of objects that are systems. It was designed by Bertalanffy. Let me remind you that back in the 37th year of the last century, it was first presented at the Chicago Philosophy Seminar. But few people know that, in general, long before Bertalanffy at the beginning of the 20th century. Vladimir Bekhterev, an outstanding Russian physiologist, substantiated twenty-three universal laws that operate both in the organic world and nature, and in the sphere of social relations. And then he just extended these laws to mental and social processes. This, of course, is especially true now. In terms of today's our congress. I cannot but mention here in my greeting another person who has made an enormous contribution to the development of systems theory. This is a student of Academician Ivan Petrovich Pavlov, Academician Petr Kuzmich Anokhin. In continuation of the development of the systems approach, he formulated the theory of functional systems. She was revolutionary. In general, because in the transition from the organ to the systemic principle of the organization of vital activity, this theory made it possible to make such a very big revolution, and not only in medicine, not only in physiology, but also for understanding many laws of the organization of nature and society. And, of course, speaking about artificial intelligence, I believe that today's Congress is, in fact, very important, very relevant. It allows you to actually connect the theory of systems, the general theory of the Bertalanffy system, other theories of systems that were formulated by our compatriots and foreign researchers, with the very problems of artificial intelligence. Because, as many people know and remember, a huge breakthrough has been made in this direction over the past 5 years. The leadership of Russia and personally President Vladimir Vladimirovich Putin have

set very serious and complex tasks on the path of developing not just artificial intelligence, but strong artificial intelligence. This is a completely new step in understanding this issue. Among the participants of today's congress, I would like to note that there are not only mathematicians, not only people who deal with this topic directly from the point of view of physics and mathematics, systems theory, but also neurobiologists, physiologists, representatives of medicine. It seems to me that this is very correct, this is very good, because the contribution of people, the class of specialists dealing with biomedical problems, to the understanding and development of the problems of artificial intelligence cannot be underestimated. And again, I am very pleased that the organizer of the congress, the Russian Academy of Sciences, singled out issues of fundamental physiology and medicine on a separate day, in a separate section, understanding the importance and role of neurobiologists and physiologists in the development of these problems. At the end of my greetings, I would like to sincerely wish all the participants of the congress great success, fruitful cooperation and, of course, interdisciplinary, good contacts in the implementation of this event. Thank you for your attention.

***親愛的同事們！***

請允許我代表我個人並代表彼得·庫茲米奇·阿諾欣正常生理學研究所向大會的與會者致意。 但在問候的開頭，我想重點談談系統理論，重點放在國會名稱開頭的那句話上。 系統理論是研究系統對象的科學和方法論概念。 它是由貝塔朗菲設計的。 我提醒大家，早在上世紀 37 年，它就在芝加哥哲學研討會上首次提出。 但很少有人知道，總的來說，早在 20 世紀初的貝塔朗菲之前。 弗拉基米爾·別赫捷列夫（Vladimir Bekhterev）是一位傑出的俄羅斯生理學家，他證實了二十三條普遍法則，這些法則在有機世界和自然以及社會關係領域都發揮著作用。 然後他將這些法則擴展到心理和社會過程。 當然，現在尤其如此。 就我們今天的代表大會而言。 在此，我不得不提及另一位為系統論的發展做出巨大貢獻的人。 這是伊万·彼得羅維奇·巴甫洛夫院士、彼得·庫茲米奇·阿諾欣院士的學生。 為了繼續系統方法的發展，他提出了功能係統理論。 她是革命性的。 總的來說，因為在從器官到生命活動組織的系統原理的轉變過程中，這個理論使得這樣一個非常大的革命成為可能，不僅在醫學上，不僅在生理學上，而且在理解許多方面自然和社會的組織法則。 當然，談到人工智能，我認為今天的國會實際上非常重要、非常相關。 它可以讓你將系統理論、貝塔朗菲系統的一般理論、我們的同胞和外國研究人員提出的其他系統理論與人工智能的問題實際聯繫起來。 因為，正如許多人所知並記得的那樣，過去 5 年在這個方向上取得了巨大的突破。 俄羅斯領導層和總統弗拉基米爾·弗拉基米羅維奇·普京本人在發展人工智能和強大人工智能的道路上設定了非常嚴肅和復雜的任務。 這是理解這個問題的全新一步。 我想指出，在今天大會的與會者中，不僅有數學家，不僅有直接從物理和數學、系統論的角度處理這個話題的人，還有神經生物學家、生理學家、醫學界的代表。 。 在我看來，這是非常正確的，這是非常好的，因為人們，處理生物醫學問題的專家階層，對人工智能問題的理解和發展的貢獻是不可低估的。 再次，我非常高興大會的組織者俄羅斯科學院在單獨的一天，在單獨的部分中單獨提出了基礎生理學和醫學問題，了解神經生物學家和生理學家在發展中的重要性和作用這些問題。 在我的問候的最後，我衷心祝愿大會的所有參與者取得圓滿成功，合作富有成果，當然還有在本次活動的實施過程中跨學科的良好聯繫。 感謝您的關注。



**Zhengbing Hu**

*председатель Издательского дома MECS, исполнительный председатель Ассоциации RAMECS*

*Chairman of MECS Publishing House, and Executive Chairman of RAMECS Association*

来自中国，*MECS*出版社主席，*RAMECS*协会执行主席

***Уважаемые коллеги!***
***Доброе утро!***

Я доктор Чжэнбин Ху из Китая, председатель издательского дома MECS и исполнительный председатель Ассоциации RAMECS.

Как представитель Китая, я очень рад внести свой вклад в этот Всемирный Конгресс.

Я здесь, чтобы поблагодарить наших научных коллег из России, Белоруссии, Китая, Индии, Казахстана, Узбекистана и других стран за участие в Конгрессе и за организацию Конгресса.

В заключении хочу сказать спасибо за вашу поддержку на протяжении всего пути.

Я надеюсь, что все примут активное участие в научных обменах на Конгрессе и желаю Конгрессу полного успеха!

***Dear colleagues, Good morning!***

I am Dr. Zhengbing Hu, from China, Chairman of MECS Publishing House, and Executive Chairman of RAMECS Association. As a representative of China, I am very happy to contribute to this congress. I am here to thank our scientific colleagues from Russia, Belarus, China, India, Kazakhstan and Tajikistan for their participation in the Congress and for the construction of the Congress.

In the end, thank you for your support all the way. I hope that everyone will actively participate in the exchange of the congress and wish the congress a complete success!

亲爱的同事们，早上好！

我是胡征兵博士，来自中国，MECS出版社主席，RAMECS协会执行主席。

作为中国的代表，我很高兴为这次大会做出贡献。我在这里感谢来自俄罗斯、白俄罗斯、中国、印度、哈萨克斯坦和塔吉克斯坦的科学界同 仁对大会的参与和大会的建设。最后，感谢大家一直以来的支持。 希望大家积极参与大会交流，预祝大会取得圆满成功！



**ГУСЕВ**
*Борис Владимирович,*

*чл.-корр. РАН*
*академик РИА и МИА*
*Президент РИА и МИА*

*Corresponding member RAS*
*Academician of RAE and IAE*
*President of RAE and IAE*

*俄罗斯科学院通讯院士*
*俄罗斯工程院和国际工程院院士*
俄罗斯工程院和国际工程院院长

***Уважаемые участники, гости, дорогие друзья!***

Всемирный Конгресс «Теория систем, алгебраическая биология, искусственный интеллект: математические основы и приложения» является знаковым мероприятием международного уровня и объединяет ведущих отечественных и зарубежных ученых, работы которых посвящены фундаментальным и практическим аспектам создания и широкого использования технологий искусственного интеллекта в различных областях нашей деятельности.

Развитие искусственного интеллекта в мире охватывает широкий спектр направлений, связанных с практическими приложениями как инженерных, так и гуманитарных наук. Это связано с возможностями современных информационных систем и технологий для своевременного получения достоверной информации в удобном формате для принятия тех или иных существенных решений.

Хорошо, что работа Конгресса в рамках пленарных и секционных докладов направлена на обсуждение и обмен опытом между ведущими учеными, работающими в области искусственного интеллекта по различным направлениям деятельности.

В заключение хочу отметить, что в настоящее время перед отечественной научной общественностью стоит целый ряд задач, решение которых внесет значительный вклад для развития ключевых секторов экономики за счет разработки и внедрения новых технических решений мирового уровня. Это позволит создать опережающий научно-технический задел, обеспечивающий долгосрочное устойчивое развитие техники и технологии.

***Хочу пожелать всем участникам Конгресса творческого вдохновения, успешной и плодотворной работы, развития научно-технического сотрудничества и партнерства!***

***Dear participants, guests, dear friends!***

The World Congress “Systems Theory, Algebraic Biology, Artificial Intelligence: Mathematical Foundations and Applications” is a landmark international event and brings together leading domestic and foreign scientists whose work is

devoted to the fundamental and practical aspects of the creation and widespread use of artificial intelligence technologies in various fields of our activity.

The development of artificial intelligence in the world covers a wide range of areas related to practical applications of both engineering and humanities. This is due to the capabilities of modern information systems and technologies for timely receipt of reliable information in a convenient format for making certain significant decisions.

It is good that the work of the Congress in the framework of plenary and sectional reports is aimed at discussion and exchange of experience between leading scientists working in the field of artificial intelligence in various areas of activity.

In conclusion, I would like to note that the domestic scientific community is currently facing a number of tasks, the solution of which will make a significant contribution to the development of key sectors of the economy through the development and implementation of new world-class technical solutions. This will make it possible to create an advanced scientific and technical basis that will ensure the long-term sustainable development of technology and engineering.

***I would like to wish all participants of the Congress creative inspiration, successful and fruitful work, development of scientific and technical cooperation and partnership!***

***尊敬的各位参会嘉宾，亲爱的朋友们！***

“系统论、代数生物学、人工智能：数学基础与应用”世界大会是一场里程碑式的国际学术交流盛会，这里齐聚了海内外致力于在国民经济各个领域开发应用人工智能技术的基础和应用研究的顶尖科学家。

人工智能的发展覆盖了全球工程学科和人文学科中与实际应用相关的广泛领域。这主要依托现代信息系统和技术，它们能够以最方便的形式让我们及时获取可靠信息并做出重要决策。

值得一提的是，大会通过全体会议和分组讨论的方式，这样让人工智能领域的顶尖科学家就各种活动进行不同层次的进行讨论和经验交流，这是一件非常好的事。

最后，我想指出的是，目前国内科学界正面临着一系列任务，将通过开发和实施新的世界级技术解决方案才能解决这些难题，进而为国内关键经济部门的发展做出重大贡献。同时，这将会形成先进科技储备，确保工程技术的长期可持续发展。

***在此，祝愿各位参会嘉宾都能通过此次交流得到创造性的启发，获得丰硕成果，找到科技合作伙伴！***



**КОРОЛЬ**
*Андрей Дмитриевич,*

*академик РАО,*
*ректор*
*Беларусского*
*государственного*
*университета*

*Academician of the Russian Academy of Education,*
*Rector of the Belarusian State University*

*俄羅斯教育科學院院士，*
*白俄羅斯國立大學校長*

***Уважаемые члены Президиума, Организационного комитета, коллеги, все участники Всемирного Конгресса "Теория систем, алгебраическая биология, искусственный интеллект: математические основы и приложения"!***

От себя лично и всего Белорусского государственного университета приветствую вас на открытии такого масштабного научного форума. Заявленная тема Конгресса является следствием происходящих сегодня в мире процессов глобализации многих сфер жизни нашего общества и человека. Здесь стоит сразу сказать, наверное, что особенностью современного мира является вообще-то дистанция, все увеличивающаяся дистанция между человеком и этим самым внешним миром, между человеком и другим человеком, между человеком, который действует в социуме, условно, человеком внешним и человеком внутренним, хранителем своих смыслов. И эта дистанция есть следствие определенного распада целостного на составляющие. Отсюда и проявления проблемы, когда система кординат ценностей постепенно уступает место системе кординат скоростей. Все возрастающий ритм жизни человека повышает объемы информации и удовольствия, расширяет внешние пределы человека. С другой стороны, это приводит к закрытию внутреннего пространства человека. Ведь еще отец Павел Флоренский, физик, математик, говорил, что человек это не факт, а акт, отдавая приоритет именно внутреннему, непрерывному, холистическому, нежели дискретному, внешнему и поверхностному, на чём собственно говоря, во многом и базируется ноль и единичка как основа проектирования искусственного интеллекта.

Современный массовый человек больше молчит, потому что сказать ему своего нечего и видит мир с искажениями, поскольку с потерей смыслов и ростом информации увеличиваются объемы вымыслов и иллюзий. А также хуже слышит другого человека, потому что хуже слышит самого себя. Расширение внешних пределов человека, когда можно одновременно общаться с разными людьми, сделать одновременно несколько копий одного и того же оратора, различные технологии, создания дипфейков, это всё требует правого

регулирования и не столько в области, например, юриспруденции, сколько ещё и осмысления ответов на вопросы, не только как делать и что делать, но и самое главное, зачем делать, это вопрос смыслового уровня. Желаю всем участникам Конгресса посмотреть на эти вопросы комплексно и найти, конечно, же на них ответы. Это позволит в дальнейшем избежать антропологического кризиса, который сегодня идет рука об руку с развитиям технологий искусственного интеллекта, обеспечить динамическое равновесие, меньше человеческого, больше искусственного с точки зрения не только мышления, но и знания, и поведения. Это всё не только вопросы технические, но также вопросы правовые, вопросы гуманитарного знания, философского, психологического, педагогического толка. Я желаю каждому участнику хороших эмоций, дружеских отношений и, конечно, же, плодотворных результатов и новых открытий!

***Dear members of the Presidium, Organizing Committee, colleagues, all participants of the World Congress "Systems Theory, Algebraic Biology, Artificial Intelligence: Mathematical Foundations and Applications"!***

On behalf of myself and the entire Belarusian State University, I welcome you to the opening of such a large-scale scientific forum. The declared topic of the Congress is a consequence of the processes of globalization taking place in the world today in many spheres of the life of our society and man. Here it is worth saying right away, probably, that a feature of the modern world is actually a distance, an ever-increasing distance between a person and this very outside world, between a person and another person, between a person who acts in society, conditionally, an external person and an internal person, the custodian of their meanings. And this distance is a consequence of a certain disintegration of the whole into components. Hence the manifestation of the problem, when the system of coordinates of values gradually gives way to the system of coordinates of velocities. The ever-increasing rhythm of human life increases the volume of information and pleasure, expands the outer limits of man. On the other hand, this leads to the closure of the inner space of a person. After all, even Father Pavel Florensky, a physicist, mathematician, said that a person is not a fact, but an act, giving priority to the internal, continuous, holistic, rather than discrete, external and superficial, on which, in fact, zero and one are largely based as basis of artificial intelligence design.

The modern mass person is more silent, because he has nothing to say and sees the world with distortions, because with the loss of meanings and the growth of information, the volumes of fictions and illusions increase. He also hears the other person worse, because he hears himself worse. The expansion of the external limits of a person, when you can simultaneously communicate with different people, make several copies of the same speaker at the same time, various technologies, create deepfakes, all this requires legal regulation and not so much in the field, for example,

jurisprudence, but also understanding the answers to questions, not only how to do and what to do, but most importantly, why to do it, this is a question of the semantic level. I wish all participants of the Congress to look at these questions comprehensively and, of course, find answers to them. This will allow in the future to avoid the anthropological crisis that today goes hand in hand with the development of artificial intelligence technologies, to ensure a dynamic balance, less human, more artificial in terms of not only thinking, but also knowledge and behavior. These are not only technical questions, but also legal questions, questions of humanitarian knowledge, of a philosophical, psychological, and pedagogical nature. I wish every participant good emotions, friendly relations and, of course, fruitful results and new discoveries!

***尊敬的主席團成員、組委會委員、各位同仁，以及“系統論、代數生物學、人工智能：數學基礎與應用”世界大會的全體參會人員！***

我謹代表我本人和整個白俄羅斯國立大學歡迎您參加如此大規模的科學論壇。 大會宣布的主題是當今世界在我們社會和人類生活的許多領域發生的全球化進程的結果。 在這裡，也許值得立即指出的是，現代世界的一個特徵實際上是一種距離，一個人與這個外部世界之間、一個人與另一個人之間、一個在社會中活動的人之間不斷增加的距離。 ，有條件地，一個外部人和一個內部人，他們的意義的保管人。 這個距離是整體分解為各個部分的結果。 因此當數值坐標系逐漸讓位於速度坐標係時，問題就顯現出來了。 人類生活節奏的不斷加快，增加了信息量和快樂，擴大了人的外部界限。 另一方面，這又導致人的內部空間的封閉。 畢竟，就連物理學家、數學家帕維爾·弗洛倫斯基神父也說過，人不是事實，而是行為，優先考慮的是內部的、連續的、整體的而不是離散的、外在的、膚淺的，事實上，零和一很大程度上是作為人工智能設計的基礎。

現代大眾更加沉默，因為他們無話可說，他們看到的世界是扭曲的，因為隨著意義的喪失和信息的增長，虛構和幻想的數量增加。 他也聽別人的聲音更差，因為他聽自己的聲音更差。 一個人的外部限制的擴展，當你可以同時與不同的人交流，同時製作同一個揚聲器的多個副本，各種技術，創建深度偽造品時，所有這些都需要法律監管，而不是在該領域，比如法理學，還要理解問題的答案，不僅僅是怎麼做、做什麼，最重要的是為什麼要做，這是一個語義層面的問題。 我希望與會的各位能夠全面地看待這些問題，當然也能夠找到答案。 這將使未來避免當今與人工智能技術發展齊頭並進的人類學危機，以確保動態平衡，不僅在思維方面，而且在知識和行為方面，減少人類，增加人工。 這些不僅是技術問題，也是法律問題、人道主義知識問題、哲學問題、心理學問題和教育問題。 祝愿每一位參與者都有良好的情感、友好的關係，當然還有豐碩的成果和新的發現！



**СОКОЛОВ**
*Александр Сергеевич,*
*ректор*
*Московской Государственной Консерватории имени Петра Ильича Чайковского*

*rector of the Moscow State Conservatory named after Pyotr Ilyich Tchaikovsky*

*校長*
*莫斯科國立音樂學院以彼得·伊里奇·柴可夫斯基命名*

### *Дорогие друзья!*

Московская государственная консерватория имени Петра Ильича Чайковского приветствует открытие первого Всемирного конгресса «Теория систем, алгебраическая биология, искусственный интеллект», приуроченного к юбилею Российской академии наук. Современное научное знание имеет впечатляющие достижения. Но целый ряд глобальных проблем еще остаётся нерешенным. И здесь возможна помощь в их решении со стороны гуманитарного знания. В синтезе гуманитарного и естественно-научного знаний музыка, на наш взгляд, играет особую роль. Вспомним, что первый закон в истории науки связан именно с музыкой— с обертоновым рядом колеблющейся струны. При этом именно обертоновый ряд — единственная шкала, не придуманная человеком! Удивительна связь современной физической теории струн с самым первым законом в истории науки: спектр масс элементарных частиц чудесным образом совпадает с обертонами колеблющихся струн.

Существует много перспективных пересечений музыки с математикой и естественными науками. При моей поддержке в Московской консерватории был создан Научно-творческий центр междисци-плинарных исследований музыкального творчества, в котором успешно работают музыканты, биологи, математики. Были проведены 4 международных конференции «Музыка-математика-естествознание», по материалам конференций изданы труды. Наш центр в полном составе участвует в работе Всемирного конгресса, секция «Музыка и естествознание».

В заключение хотел бы подчеркнуть исключительную научную значимость Конгресса и пожелать его участникам новых свершений!

### *Dear friends!*

The Moscow State Pyotr Ilyich Tchaikovsky Conservatory welcomes the opening of the first World Congress "Systems Theory, Algebraic Biology, Artificial Intelligence", dedicated to the anniversary of the Russian Academy of Sciences.

Modern scientific knowledge has impressive achievements. But a number of

global problems still remain unresolved. And here it is possible to help in their solution from the side of humanitarian knowledge. In the synthesis of humanitarian and natural science knowledge, music, in our opinion, plays a special role. Let us recall that the first law in the history of science is connected precisely with music—with the overtone series of a vibrating string. At the same time, it is the overtone series that is the only scale that has not been invented by man! The connection between the modern physical theory of strings and the very first law in the history of science is amazing: the mass spectrum of elementary particles miraculously coincides with the overtones of vibrating strings.

There are many promising intersections between music and mathematics and the natural sciences. With my support, the Scientific and Creative Center for Interdisciplinary Studies of Musical Creativity was established at the Moscow Conservatory, where musicians, biologists, and mathematicians successfully work. 4 international conferences "Music-Mathematics-Natural Science" were held, and papers based on the materials of the conferences were published. Our center participates in full force in the work of the World Congress, section "Music and Natural Science".

In conclusion, I would like to emphasize the exceptional scientific significance of the Congress and wish its participants new achievements!

## *親愛的朋友們！*

莫斯科國立彼得·伊里奇·柴可夫斯基音樂學院歡迎首屆“系統論、代數生物學、人工智能”世界大會的開幕，該大會旨在紀念俄羅斯科學院成立週年。

現代科學知識取得了令人矚目的成就。 但許多全球性問題仍未得到解決。 在這裡，可以從人道主義知識的角度幫助他們解決問題。 我們認為，在人文和自然科學知識的綜合中，音樂發揮著特殊的作用。 讓我們回想一下，科學史上的第一定律恰好與音樂相關——與振動弦的泛音系列相關。 同時，泛音系列是唯一還沒有被人類發明的音階！ 現代弦物理理論與科學史上第一定律之間的聯繫是驚人的：基本粒子的質譜與振動弦的泛音奇蹟般地重合。

音樂、數學和自然科學之間有許多有希望的交叉點。 在我的支持下，莫斯科音樂學院成立了音樂創造力跨學科研究科學與創意中心，音樂家、生物學家和數學家在這裡成功地工作。 舉辦了 4 次“音樂-數學-自然科學”國際會議，並發表了基於會議材料的論文。 我們中心全力參與世界大會“音樂與自然科學”部分的工作。

最後，我謹強調本次大會的非凡科學意義，並祝愿與會人員取得新的成果！



**ПАНЧЕНКО**
*Владислав Яковлевич*

*академик РАН,*
*вице-президент РАН,*
*Сопредседатель Конгресса*

*academician of the RAS,*
*Vice President of the RAS,*
*Congress Co-chair*

*俄羅斯科學院院士，*
*俄羅斯科學院副院長*
*大會聯合主席*

***Уважаемые коллеги!***

Хотел бы еще раз всех поблагодарить за внимательное отношение к Конгрессу, очень содержательные выступления, теплые пожелания всем участникам Конгресса и повторить своё предложение, которое будем обсуждать в академии, что очень, наверное, правильно и полезно для всех людей, так как не все во время Конгресса смогут друг друга услышать. Это подговорить труды, издать отдельный выпуск Известий РАН, например, посвященный результатам нашего Конгресса.

А я в своей стороны готов оказать всяческое содействие для того, чтобы труды увидели свет.

Еще раз всем огромное спасибо, я благодарю всех, выступавших, всех организаторов, всех людей, которые поддержали этот Конгресс.

***Dear Colleagues!***

I would like to thank everyone again for their attentive attitude to the congress, very informative speeches, warm wishes to all congress participants and repeat my proposal, which we will discuss at the academy, which is probably very correct and useful for all people, since not everything is on time Congress will be able to hear each other. This is to persuade the works, to publish a separate issue of Izvestiya RAS, for example, dedicated to the results of our congress.

And I, for my part, am ready to provide all possible assistance so that the works see the light. Once again, many thanks to everyone, I thank everyone who spoke, all the organizers, all the people who supported this Congress.

***親愛的同事們！***

我要再次感謝大家對大會的關注態度、內容豐富的演講、對所有大會參與者的熱烈祝愿，並重複我的建議，我們將在學院討論該建議，這可能是非常正確的，對所有人都有用，因為並非一切都按時國會就能聽到對方的聲音。 這是為了說服作品，例如出版一期單獨的《Izvestiya RAS》，專門報導我們大會的結果。

**就我而言，我已準備好提供一切可能的幫助，以使這些作品得以曝光。 再次非常感謝大家，感謝所有發言者、所有組織者、所有支持這次大會的人們**

corrected taking into account the experience gained and the cycle is repeated the required number of times until the required result is achieved.

It is not always possible to find the involved neurons and other parts of the functional system in the body and its nervous system and brain; nevertheless, the above diagram plays a crucial methodological role in physiology. An analogue of the functional system diagram is shown below in Fig. 4 is a diagram of the operation of the biomachsystem, which, due to the presence of two living subsystems, includes corresponding diagrams of functional systems that work in the same way as described above for a separate functional system. A detailed description of the operation of the biomachsystem is given in [17].

It is important to note that the concept of a system-forming factor is not used in other systems, except for functional systems, biomachsystems and their categorical generalization, called categorical systems. Essentially, this position also gives grounds to assert that biomachsystems are new types of systems that have not been previously considered, while we have already spoken about the difference between biomachsystems and functional systems.

*Fig.4. Functional diagram of the biomachsystem*

When classifying objects in mathematics, the emphasis is on invariants; if one or another invariant differs in two systems, then they cannot be isomorphic.

Such an invariant for systems is the number of subsystems of the first level; Figure 5 shows that systems according to M. Mesarovic [18], ergatic systems, biomachsystems, functional systems have a different specified invariant, this is another argument in favor of proving the difference between biomachsystems and other systems.

The question that biomachsystems are a new type of system is discussed in detail in our book “Fundamentals of the Theory of Biomachsystems,” which is in print.

One of the important applications of the theory of biomachsystems is to rethink the purpose of agricultural machines and radically revise the traditional approach to the design of agricultural machines and mechanisms.

*Fig.5. Composite systems of the first level*

Let us give an explanation of the diagram shown in Fig. 1 that reflects the above. 6. An agricultural machine in a biomachsystem is a subsystem that contributes to the achievement of the system-forming factor of the biomachsystem itself. This means, for example, that a tractor taken by itself is not an agricultural machine. Indeed, it can work at a construction site with a blade like a bulldozer, be used in military affairs, and so on. A tractor becomes an agricultural machine after connecting to it a harrow, a seeder and other working parts, with the help of which the tractor is included as an

element of achieving a useful result in some biomachsystem. The usual goals of agricultural production, such as harvesting and caring for animals, are system-forming factors of the corresponding biomachsystems.

*Fig.6. Scheme of stages of designing an agricultural machine*

In this case, the role of the machine turns out to be reduced to providing cultivated plants and productive animals with conditions for their cultivation and maintenance that meet the requirements described by the breeder in the variety or breed passport. Of course, the life cycle of a productive living creature, as a rule, requires not one, but many machines and mechanisms, therefore, as in the scheme of a biomachsystem, the term “machine” is a general one. When constructing them to samples adequate to system requirements, it is necessary to refer to the living genome. The machine, when operating in a biomachsystem, ensures the correct order of expression of the genes of the genome of a productive living creature created by the breeder. Here, the theory of biomachsystems involves algebraic biology to calculate and predict the phenotype of a living thing, as well as experimental and other results of the breeder’s work. As a result, the designer’s work should be based, which is not currently the case, on the developed solutions (see diagram in Fig. 6) that preceded the start of construction.

Currently, the design of agricultural machines and mechanisms is based on the position and developments of agricultural mechanics by V.P. Goryachkina.

However, over the course of many decades, this mechanics, in fact, turned into a section of theoretical mechanics and continuum mechanics, despite the fact that initially the founder of agricultural mechanics postulated a new science that could not be reduced to the traditional sections of mechanics. Starting, in fact, from scratch, more precisely, from the calculation of an ordinary hoe V.P. Goryachkin could not help but develop sections of theoretical mechanics as applications to agricultural machines. Installations V.P. Goryachkin, based on living organisms, cultivated plants and animals after his initial steps, were practically not further developed by his students and followers. The theory of biomachsystems returns and expands the nature of agricultural mechanics, requiring at one level to consider both the mechanical and biological and managerial qualities of the biomachsystem. Agricultural mechanics, in its original idea by its creator, is organically included in the theory of biomachsystems. One can even say that biomachsystems represent a modern version of agricultural mechanics.

The consideration of mechanical issues familiar to designers of agricultural machines must be refined to a new, revised approach to the design of agricultural machinery, as indicated above. In short, it is necessary to use new branches of mechanics called servo-coupled mechanics. Within the framework of this direction, methods have been developed for an adequate description of mechanical systems

with the process of controlling them by control centers; such centers, in particular, are built into biomachsystems, namely, these are control subsystems that interact from the side of the machine with productive living and human beings.

Here we are faced with fundamental problems, which their authors often avoid when presenting theoretical mechanics, the theory of machines and mechanisms in monographs and textbooks. The model of a wheel moving on a surface without slipping is one of the main ones in the theory of agricultural machines and mechanisms. However, since the time of Lagrange, the problem of violation of Hamilton's stationary action principle for systems with similar wheels that implement examples of essentially nonholonomic connections has been known [19]. From the point of view of systems theory, it is impossible to discard Hamilton's principle of stationary action, as is done in the mechanics of nonholonomic constraints, replacing it with the D'Alembert-Lagrange principle, which in such cases is not equivalent to Hamilton's principle of stationary action. The reason for the illegality of this approach is that Hamilton's principle of stationary action is included in the integral system-forming factor of the biomechanical system, and by excluding it from the system-forming factor we destroy the biomechanical system.

The emerging problem was solved by Academician V.V. Kozlov in the framework of the new mechanics he discovered, which he called vakonomic mechanics [19]. He proposed other than usual options for variation of paths and new axioms (determination of possible displacements, etc.), which made it possible to construct the principle of stationary action for nonholonomic mechanical systems. The equations of motion of vakonomic mechanics differ from similar equations obtained from the D'Alembert-Lagrange principle. Results V.V. Kozlov allow us to include the mechanics of nonholonomic connections in the category of systems with a system-forming factor according to P.K. Anokhin. Vaconomic mechanics was included in the theory of mechanics with servo-constraints [20,21], which was initiated by A. Bégen [22]. Biomechanical systems require mechanics with servo connections, which are controlled by a machine solver or an animal's brain. Thus, in a new approach to the design of agricultural machinery, it is necessary to use, in addition to conventional theoretical mechanics, also mechanics with servo connections.

Humans and higher mammals are biomechanical systems with a composite system-forming factor, and not simply functional systems, as they are considered in physiology and in the traditional theory of functional systems.

Thus, we examined the fundamental issues of biomachsystems and a radical revision of the purpose of agricultural machinery with its design, dictated by the theory of biomachsystems.

Of the sectoral structures in the country, agriculture, including rural society, is unique in terms of the variety of possibilities for applying the fundamental directions of this Congress both in systems theory, biology, and artificial intelligence

applications. Here we have a territorial coverage of the entire country, a high-tech industry, a machine-building industry, a significant part of society, united by a global system-forming factor that corresponds to the production of agricultural products and food security of the country. Thus, agricultural issues are an essential, and in some places, a key link in the scientific, technical and organizational core of the Congress. Let us emphasize that rural society, productive living things and agricultural machinery constitute a global biomachsystem. Here we have a field of application of systems theory that is practically important for the country, as one of the main directions of the Congress.

## *介紹*

所有生物的生命三位一體都以營養為支撐點之一，而在人類社會中，正如我們所證實的那樣[1-4]，營養是由“人-機-生產性生活”的生物機器系統提供的。

*圖。1。三元組圖。*

國家的營養是由農業生產提供的，農業生產的成功運作也決定了國家的糧食安全。

「系統」這個詞在這裡並不是偶然的；系統處於我們工作的系統範式的最前沿。 系統概念的最前沿是系統形成因素，它是由院士 Pyotr Kuzmich Anokhin 在功能係統理論中發現的 [5]，並由我們對生物機器系統進行了重大修改。 讓我們解釋一下系統範式的含義。 最簡單的方法是求助於數學中著名的集合論範式。 N. Bourbaki 的多卷課程體現了這個範式，其中所有數學概念都被簡化為集合和子集的概念。 函數由一組點對、積分、矩陣、序列表示……一切都表示為集合。 轉向系統範式，我們也說我們周圍的一切都以系統及其聚合的形式表示。 與生物機器系統接近的是不穩定的「人機」系統。 這是一個巨大的領域，也以工程心理學[6,7]、人為因素[8]等名義出現。 然而，事實證明，對於農業系統，能源效率系統[9]的方法以及功能係統理論的方法都是不夠的。 事實證明，將生物排除在生物機器系統之外的嘗試不允許過渡到能動系統，因為原始系統已被完全破壞。 然而，為了證明生物機器系統是一種新的、以前未探索過的系統類型，有必要轉向非常多的系統方法，從系統的數學理論，到哲學的系統方法和在那裡發展的一般系統理論。 數學系統理論始於牛頓時代，伴隨著動力系統的出現，可以認為，數學系統理論的巨大領域是由 S.N.院士給出的最普遍的系統定義所加冕的。 瓦西里耶夫[10]。 然而，這個定義本質上是集合論的，不涵蓋生物機器系統的分類形式化。

在哲學系統通論中的眾多系統方法中，最先進的是由 A.I. 開發的三元描述語言方法。 烏約莫夫和他的同事[11]。 人工智慧. 烏約莫夫給了系統的定義，在他的符號中具有公式的形式

(iA)S = ([a(*iA)])t, (iA)S = t([(iA*)a])

並證明了在該定義下包含許多現有系統定義的合理性，包括 P.K. 的功能係統。 安諾基娜。 他依賴薩多夫斯基[12]收集的三打系統方法，薩多夫斯基發展了元系統的一般理論，但不幸的是沒有完成他多年的研究。 A.I.提出的雄心勃勃的目標 烏約莫夫的計劃旨在基於三元描述語言創建一種哲學邏輯，就像數學中的數理邏輯一樣，能夠從一些真實的陳述轉向證明其他陳述的合理性。 雖然 A.I. 烏約莫夫給了系統的定義，但沒有時間完整建構三元描述語言。 此外，他的作品還包含邏輯學家指出的空白和錯誤。 這項工作填補了許多空白[13,14]，這使得嚴格解釋系統公式並確保人工智慧方法成為可能。 Uyomova 不涵蓋生物機器系統，也不涵蓋功能係統理論的分類形式化。

系統形成因素可以被非正式地定義為一個目標、一個有用的結果、出於某種原因所必需的，即係統形成因素作為一個整體涵蓋了系統的概念，系統的構建是從整體出發的。系統是根據系統形成因素來建構的。 P.K.需要明確的語言。 Anokhin，如果他在 20 世紀 30 年代就已經嘗試將功能係統理論形式化了，當時範疇論還不存在。 它是由 Eilenberg 和 MacLane 在戰後創建的[15]。

值得注意的是，一組功能係統已經是一個非經典拓撲，如[16]所示。 P.K 方法中系統形成因素的概念。 事實證明，Anokhin 對於生物機器系統來說是不夠的；對於生理學來說，它是足夠的，但它不能涵蓋非生命系統，特別是來自生物機器系統「人-機器-生命」的機器。 將機器整合到功能係統圖中的嘗試被證明是不夠的；此外，對生理功能係統的直觀考慮對於生物機器系統來說顯然是不夠的，因為生物機器系統需要對機器進行精確的計算，而不是近似的建議，其中只有傳統的功能係統理論是有能力的。 功能係統無法描述人機互動的關鍵原因是 PC。 阿諾金沒有找到機器作為系統的系統形成因素，並認為無生命的物體不是系統。 然而，對於動態系統和其他系統，我們發現了一個系統形成因素；它被證明是漢密爾頓的平穩作用原理，將混沌轉化為有序。 因此，生物機器系統具有由生物生存原理和漢密爾頓原理產生的複合系統形成因素。 在生物機器系統中，存在不只一種生物體，生存原則考慮到生物機器系統的所有生命子系統。 對生物機器系統組成系統形成因素的考慮已成為生理學中開放系統形成因素的概括之一。

讓我們展示一個足夠詳細、易於理解的生物機器系統的初始圖，其中包括用於求解器的強大人工智慧片段，以及功能係統圖和類似的生物機器系統通用圖。

*圖。2。生物機系統圖*

由於多種原因，生理學家將以下方案稱為行為行為的功能係統；下面我們將簡要回憶一下它的描述，包括因為生物機器系統的類似方案需要它。

該計劃的實施始於身體出現未在其上註明的需求，例如，由於天氣炎熱而

導致液體流失而導致血液變稠。 相應的受體向大腦發出信號，並形成動機，在我們的例子中稱為口渴。 動機會激發傳入合成，例如記憶搜尋和啟動其他生理工具來發展各種方法來滿足需求。 決策區塊負責從找到的解決方案選項中選擇一個選項。 此後，另外兩個區塊開始形成：動作結果接受器區塊，其中輸入所需結果的參數，以及程式區塊，其中為效應器形成必要的動作以實現結果。

*圖。3。功能係統示意圖*

效應器被投入行動，從而產生一些結果。 回饋（適當接收器的工作）將資訊（參數）傳送到操作結果接收器，在那裡將其與所需結果的描述進行比較。 如果獲得的參數與計劃的參數一致，則滿足需求，解散功能係統；如果不匹配，則根據獲得的經驗對功能係統進行修正，並重複循環所需的次數，直到達到了所需的結果。

並非總是能夠找到身體及其神經系統和大腦中所涉及的神經元和功能係統的其他部分；儘管如此，上圖在生理學中起著至關重要的方法論作用。 功能係統圖的模擬如下圖 1 所示。 圖 4 是生物機器系統的操作圖，由於存在兩個生命子系統，因此該生物機器系統包括以與上述獨立功能係統相同的方式工作的功能係統的對應圖。 生物機器系統的操作的詳細描述在[17]中給出。

值得注意的是，除了功能係統、生物機器系統及其分類概括（稱為分類系統）之外，系統形成因素的概念並未在其他系統中使用。 從本質上講，這個立場也有理由斷言生物機器系統是以前沒有考慮過的新型系統，而我們已經談到了生物機器系統和功能係統之間的區別。

*圖 4. 生物機械系統功能圖*

在數學中對物件進行分類時，重點是不變量；如果兩個系統中的一個或另一個不變量不同，那麼它們就不可能是同構的。

系統的這樣一個不變量是第一級子系統的數量；圖 5 顯示了根據 M. Mesarovic [18] 的系統，有效系統、生物機器系統、功能係統具有不同的指定不變量，這是支持的另一個論點證明生物機器系統與其他系統之間的差異。

生物機器系統是一種新型系統的問題在我們已出版的《生物機器系統理論基礎》一書中詳細討論。

生物機械系統理論的重要應用之一是重新思考農業機械的用途，並從根本上修改農業機械和機構的傳統設計方法。

*圖5。 第一級複合系統*

讓我們對反映上述情況的圖 1 所示的圖表進行解釋。 6.生物機器系統中的農業機械是有助於實現生物機器系統本身的系統形成因素的子系統。 例如，這意味著拖拉機本身就不是農業機械。 確實，它可以像推土機一樣用刀片在建築工地工作，也可以用於軍事等等。 拖拉機在連接了耙子、播種機和其他工作部件後就成為農業機械，在這些部件的幫助下，拖拉機被納入某些生物機械系統中，作為實現有用結果的元件。 農業生產的通常目標，如收穫和飼養動物，是相應生物機器系統的系統形成因素。

*圖6。 農業機械設計階段圖*

在這種情況下，機器的作用被簡化為提供栽培植物和生產性動物的栽培和維護條件，以滿足育種者在品種或品種護照中描述的要求。 當然，生產性生物的生命週期通常需要的不是一台機器和機構，而是許多機器和機構，因此，正如在生物機器系統的方案中一樣，「機器」一詞是通用的。 當將它們建構成足以滿足系統要求的樣本時，有必要參考活體基因組。 該機器在生物機器系統中運作時，可確保育種者創造的生產性生物的基因組基因的表達順序正確。 在這裡，生物機器系統的理論涉及代數生物學來計算和預測生物的表型，以及育種者工作的實驗和其他結果。 因此，設計師的工作應該基於施工開始前開發的解決方案（見圖 6），但目前並非如此。目前，農業機械和機構的設計是基於 V.P.農業機械的地位和發展。 戈里亞奇金娜。

然而，在幾十年的時間裡，這種力學實際上變成了理論力學和連續介質力學的一個部分，儘管農業力學的創始人最初假設了一門新的科學，不能簡化為傳統的力學部分。機械師。 事實上，從頭開始，更準確地說，是從普通鋤頭副總裁的計算開始。 戈里亞奇金情不自禁地發展了理論力學的某些部分，並將其應用於農業機械。 安裝副總裁 戈里亞奇金以生物體為基礎，在他最初的步驟之後培育了植物和動物，但他的學生和追隨者實際上沒有進一步發展。 生物機器系統理論回歸並擴展了農業力學的本質，要求在一個層面上考慮生物機器系統的機械特性、生物特性和管理特性。 農業力學在其創造者的最初構想中，有機地包含在生物機器系統理論中。 甚至可以說，生物機器系統代表了現代版的農業力學。

如上所述，必須對農業機械設計者熟悉的機械問題進行細化，以採用新的、修訂的農業機械設計方法。 簡而言之，有必要使用稱為伺服耦合力學的新力學分支。 在這個方向的框架內，已經開發了方法來充分描述機械系統以及控制中心控制它們的過程；特別是，這些中心被內置到生物機器系統中，即，這些是與控制中心相互作用的控制子系統。機器的一側具有生產力的生活和人類。

在這裡，我們面臨著一些基本問題，而這些問題的作者在專書和教科書中介紹理論力學、機器理論和機構時經常迴避這些問題。 車輪在表面上移動而

不打滑的模型是農業機械和機構理論中的主要模型之一。 然而，自拉格朗日時代以來，對於具有類似輪且實現本質上非完整連接範例的系統，違反漢密爾頓靜止作用原理的問題已經眾所周知[19]。 從系統論的角度來看，不可能像非完整約束力學中那樣拋棄漢密爾頓的靜止作用原理，而代之以達朗貝爾-拉格朗日原理，在這種情況下，達朗貝爾-拉格朗日原理並不等於漢密爾頓的靜止作用原理。靜止動作原理。 這種方法非法的原因在於，漢密爾頓的靜止作用原理包含在生物力學系統的整體系統形成因素中，如果將其排除在系統形成因素之外，我們就會破壞生物力學系統。

V.V. 院士解決了這個新出現的問題。 科茲洛夫在他發現的新力學框架中，稱之為「vakonomicomics」[19]。 他提出了不同於通常的路徑變化選項和新公理（確定可能的位移等），這使得構建非完整機械系統的靜止作用原理成為可能。 人體力學的運動方程式與根據達朗貝爾-拉格朗日原理獲得的類似方程式不同。 結果 V.V. 根據 P.K. Kozlov，我們可以將非完整連接機制納入具有系統形成因素的系統類別中。 阿諾金。 真空力學被納入由 A. Bégen [22] 發起的伺服約束力學理論 [20,21]。 生物力學系統需要具有伺服連接的機械裝置，這些連接由機器解算器或動物的大腦控制。 因此，在農業機械設計的新方法中，除了傳統的理論力學之外，還需要使用具有伺服連接的力學。

人類和高等哺乳動物是具有複合系統形成因素的生物力學系統，而不是生理學和傳統功能係統理論所認為的簡單功能係統。

因此，我們研究了生物機器系統的基本問題，並根據生物機器系統理論對農業機械的目的及其設計進行了徹底的修改。

在該國的部門結構中，農業（包括農村社會）在系統理論、生物學和人工智慧應用方面應用本次大會基本方向的各種可能性方面是獨一無二的。 在這裡，我們擁有涵蓋整個國家的領土、高科技產業、機械製造工業、社會的重要組成部分，並由與農產品生產和糧食安全相對應的全球體系形成因素結合在一起。國家。 因此，農業議題是大會科學、技術和組織核心的重要環節，在某些地方甚至是關鍵環節。 我們強調，鄉村社會、生產生物和農業機械構成了全球生物機器系統。 這裡我們有一個對國家具有實際意義的系統論應用領域，作為大會的主要方向之一。

***Литература*** ***References*** ***參考書目***

1. Черноиванов В.И. Биомашсистемы: возникновение, развитие и перспективы, Биомашсистемы, 2017, т.1, №1, С.7-58.

2. Черноиванов В.И., Савченкова И.П., Толоконников Г.К. Парадигма биомашсистем, Вестник ВНИИМЖ, 2016, №2 (22), С. 56-61.

3. Биомашсистемы. Теория и приложения, под ред.Черноиванова В.И., - М.:

Росинформагротех, 2016, том 1, - 227 с.том 2 -213 с.

4. Черноиванов В.И., Толоконников Г.К. Системный подход для агропромышленного комплекса, Техника и оборуд. для села, 2021, № 12, С. 2-6.

5. Анохин П.К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем, Принципы системной организации функций. М., Наука, 1973, С. 5-61.

6. Ломов Б. Ф. Человек и техника: Очерки инженерной психологии. М.: Радио и связь, 1966. 464 с.

7. Сергеев С.Ф. Введение в инженерную психологию и эргономику иммерсивных сред. СПб.: Изд-во СПбГУ ИТМО, 2011. 258 с.

8. Человеческий фактор, под ред. Г.Салвенди. М., Мир, 1991. Т.1-6.

9. Карташов Л.П., Соловьев С.А. Повышение надежности системы «человек-машина-животное». Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 275 с.

10. Матросов В.М., Анапольский Л.Ю., Васильев С.Н. Метод сравнения в математической теории систем, Новосибирск, Наука, 1980. 480 с.

11. Уёмов А.И. Системный подход и общая теория систем. М., Мысль, 1978.

12. Садовский В.Н. Основания общей теории систем. М., Наука, 1974.

13. Tolokonnikov, G.K. A Version of the Ternary Description Language with an Interpretation for Comparing the Systems Described in it with Categorical Systems. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, Springer, 2023, vol. 180, P. 261-270.

14. Tolokonnikov, G.K. Ternary Description Language and Categorical Systems Theory. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, Springer, 2023, vol. 181. P. 382-390.

15. Mac Lane S. Categories for the Working Mathematician, Springer, Berlin, 2013.

16. Толоконников Г.К. Неформальная категорная теория систем, Биомашсистемы, т. 2, № 4, 2018, С.41-144.

17. Черноиванов В.И., Толоконников Г.К. Функциональная схема биомашсистемы, Техника и оборудование для села, 2022, №10, С. 2-5.

18. Месарович М., Такахара И. Общая теория систем: математические основы. М., Мир, 1978, 311с.

19. Арнольд В.И., Козлов В.В., Нейштадт А.И. Математические аспекты классической и небесной механики, М., УРСС, 2016, 416 с.

20. Козлов В.В. Принципы динамики и сервосвязи, Вестн. Моск.унив., матем., механ., 1989, №5 , С.59-66,

21. Козлов В.В. Динамика систем с сервосвязями. II, Нелинейная динам., 2015, т. 11, № 3, С. 579–611.

22. Беген А. Теория гироскопических компасов Аншютца и Сперри и общая теория систем с сервосвязями. М., 1967.

*DOI 10.18699/sblai2023-40*
*УДК 512.5, 512.581*

# *Категорные склейки, свёрточные поликатегории, категорные системы и метод функциональных уравнений в теории алгебр*

## *Categorical splices, convolutional polycategories, categorical systems and the method of functional equations in algebras theory*

## *代數理論中的分類拼接、卷積多範疇、分類系統與函數方程式方法*

***Толоконников Г.К.***
*к.ф.-м.н., ФНАЦ ВИМ, Москва, Россия*
*Ph.D., FNATS VIM, Moscow, Russia*
*FNATS VIM 博士，俄羅斯莫斯科*
*admcit@mail.ru*

***Аннотация.*** Проблема построения физических теории старейшая и не теряющая актуальности. Потребности в новых физических теориях возникали для решения проблем квантовой теории поля (Ю.М. Широков), для описания феномена сознания (Р. Пенроуз), при восстановлении гамильтонова формализма для неголономных механик (В.В. Козлов) и так далее. В виду расширения многообразия физических теорий и, главное, необходимости выяснения взаимоотношений и взаимодействия между ними востребована теория систем. На физические теории можно смотреть как на теории физических систем, на биологические, химические и социальные теории можно смотреть как на теории биологических, химических и социальных систем. Предметом теории систем является изучение систем, связей между ними, включая изучение различных физических теорий, таких, например, как квантовая и классическая механики, то есть изучение классических систем и квантовых систем. Обычно физическая теория состоит из наблюдаемых и состояний. Наблюдаемые можно перемножать, то есть они образуют различного рода алгебры, состояния являются функционалами над этими алгебрами. Таким образом, поиски новых физических теорий начинаются с алгебр наблюдаемых. Автор вместе со своим научным руководителем Ю.М. Широковым начинали с поиска новых алгебр наблюдаемых в аксиоматике гамильтоновых механик. Возник метод функциональных уравнений в теории алгебр, с помощью которого помимо поиска новых алгебр, были решены также старая задача суммирования рядов Бейкера-Кэмпбелла-Хаусдорфа, уравнение Янга-Бакстера для некоторых не полупростых алгебр Ли и другие задачи, о чём будет сказано в работе. Переход к изучению различных систем, инициированный задачей поиска новых физических теорий, привёл к построению категорных систем, для которых построены оказавшиеся необходимыми новые виды категорных объектов, именно, свёрточные поликатегории и категорные склейки. На основе опирающегося на них категорного языка предложена формализация теории функциональных систем П.К. Анохина, что также рассмотрено в работе.

***Ключевые слова:*** *классическая механика, квантовая механика, алгебры наблюдаемых, агебры Ли, категории, поликатегории, системы, функциональные системы, категорные системы*

***Annotation.*** *The problem of constructing physical theories is the oldest and still relevant. The need for new physical theories arose to solve the problems of quantum field theory (Yu.M. Shirokov), to describe the phenomenon of consciousness (R. Penrose), to restore the Hamiltonian formalism for nonholonomic mechanics (V.V. Kozlov) and so on. In view of the expansion of the variety of physical theories and, most importantly, the need to clarify the relationships and interactions between them, systems theory is in demand. Physical theories can be looked at as theories of physical systems, biological, chemical and social theories can be looked at as theories of biological, chemical and social systems. The subject of systems theory is the study of systems and the connections between them, including the study of various physical theories, such as quantum and classical mechanics, that is, the study of classical systems and quantum systems. Typically, a physical theory consists of observables and states. Observables can be multiplied, that is, they form various kinds of algebras, the states are functionals over these algebras. Thus, the search for new physical theories begins with algebras of observables. The author, together with his scientific advisor Yu.M. Shirokov began with the search for new algebras of Hamiltonian mechanics observable in the axiomatics. The method of functional equations in the theory of algebras arose, with the help of which, in addition to the search for new algebras, the old problem of summing the Baker-Campbell-Hausdorff series, the Yang-Baxter equation for some non-semisimple Lie algebras and other problems were solved, which will be discussed in the work. The transition to the study of various systems, initiated by the task of searching for new physical theories, led to the construction of categorical systems, for which new types of categorical objects were constructed, which turned out to be necessary, namely, convolutional polycategories and categorical splices. Based on the categorical language based on them, a formalization of Anokhin's theory of functional systems is proposed, which is also considered in the work.*

***Keywords:*** *classical mechanics, quantum mechanics, algebras of observables, Lie agebras, categories, polycategories, systems, functional systems, categorical systems*

***註解***。 *建構物理理論的問題是最古老的，但仍具有現實意義。 需要新的物理理論來解決量子場論問題（Yu.M. Shirokov）、描述意識現象（R. Penrose）、恢復非完整力學的哈密頓形式主義（V.V. Kozlov）等等。 鑑於物理理論種類的擴展，最重要的是，需要澄清它們之間的關係和相互作用，因此需要係統理論。 物理理論可以被視為物理系統的理論，生物、化學和社會理論可以被視為生物、化學和社會系統的理論。 系統論的學科是對系統及其之間聯繫的研究，包括對各種物理理論的研究，如量子力學和經典力學，即經典系統和量子系統的研究。 通常，物理理論由可觀測值和狀態組成。 可觀測量可以相乘，也就是說，它們形成各種代數，狀態是這些代數的泛函。 因此，對新物理理論的探索始於可觀測量的代數。 作者和他的科學顧問 Yu.M. 希羅科夫開始尋找公理學中可觀察到的哈密頓力學的新代數。 代數理論中的函數方程式方法出現了，借助它，除了尋找新的代數之外，還解決了對 Baker-Campbell-Hausdorff 級數求和、某些非半簡單的 Yang-Baxter 方程的老問題李代數和其他問題都得到了解決，這些問題將在工作中討論。 由尋找新物理理論的任務引發的向各種系統研究的轉變導致了分類系統的構建，為此構建了新類型的分類對象，結果證明這是必要的，即卷積多類別和絕對粘合。 基於它們的分類語言，提出了 Anokhin 功能係統理論的形式化，這也在工作中得到了考慮。*

***關鍵字:*** *經典力學、量子力學、可觀測量代數、李年齡、範疇、多範疇、系統、函數系統、分類系統*

## *1. Введение*

Проблема построения физических теории старейшая и не теряющая актуальности. Потребности в новых физических теориях возникали для решения проблем квантовой теории поля ([Широков, 1975]), для описания феномена сознания ([Пенроуз, 2003]), при восстановлении гамильтонова формализма для неголономных механик ([Козлов, 1983]) и так далее. В виду расширения многообразия физических теорий и, главное, необходимости выяснения взаимоотношений между ними востребована теория систем. На физические теории можно смотреть как на теории физических систем, на биологические, химические и социальные теории можно смотреть как на теории биологических, химических и социальных систем. Предметом теории систем является изучение систем, связей между ними, включая изучение различных физических теорий, таких, например, как квантовая и классическая механики, то есть изучение классических систем и квантовых систем. Обычно физическая теория состоит из наблюдаемых и состояний. Наблюдаемые можно перемножать, то есть они образуют различного рода алгебры, состояния являются функционалами над этими алгебрами. Таким образом, поиски новых физических теорий начинаются с алгебр наблюдаемых. Автор вместе со своим научным руководителем Ю.М. Широковым начинали с поиска новых алгебра наблюдаемых в аксиоматике гамильтоновых механик [Широков, 1975], [Толоконников, 1977]. Возник метод функциональных уравнений в теории алгебр, с помощью которого помимо поиска новых алгебр, были решены также старая задача суммирования рядов Бейкера-Кэмпбелла-Хаусдорфа, уравнение Янга-Бакстера для некоторых не полупростых алгебр Ли и другие задачи [Толоконников, 1986, 1987, 1988], о чём будет сказано в работе. Переход к изучению различных систем, инициированный задачей поиска новых физических теорий, привёл к построению категорных систем, для которых построены оказавшиеся необходимыми новые виды категорных объектов, именно, свёрточные поликатегории и категорные склейки [Толоконников, 2016(*a,b*), 2017, 2018(*a,b,c*), 2021], [Tolokonnikov, 2019, 2020(*a,b*)]. На основе опирающегося на них категорного языка предложена формализация теории функциональных систем П.К. Анохина, что также рассмотрено в работе.

## *2. Задача поиска формализмов новых физических теорий*

Язык категорных склеек единообразно описывает основные алгебраические структуры от универсальных алгебр до поликатегорий и высших категорий и даёт примеры новых алгебраических структур, применяемых, в частности, в общей теории систем. Категорные склейки вводятся как формальные логические теории с моделями в различных универсумах, включая различные категории, в том числе, отличные от категории множеств. Поликатегории Сабо [Szabo, 1975] и введённые автором

ранее [Толоконников, 2016] свёрточные поликатегории являются частными моделями категорных склеек. Помимо новых алгебраических структур теория категорных склеек предлагает описание известных категорных дуальностей и примеры новых видов дуальностей, включая дуальности, собственно, самих категорных склеек. Среди приложений имеется представление традиционных искусственных нейронных сетей произвольной топологии свёрточными поликатегориями, дуальности в которых применяются, в частности, для уточнения и обоснования известных формул Осовского вычисления градиентов в методе обратного распространения ошибки [Толоконников, 2018(*a*)], [Tolokonnikov, 2020(b)]. Предлагается категорная модель нейрона, учитывающая не только его спайковую активность, но и другие виды межклеточной коммуникации и нейронных сетей с топологией высших категорных склеек, далеко обобщающей виды соединений нейронов в традиционных искусственных нейронных сетях. Предложенная ранее автором формализация теории функциональных систем П.К. Анохина аксиоматизирована с помощью категорных склеек и предлагается в виде категорной теории систем в качестве общей теории систем. Категорная теория систем включает формализованные системообразующий фактор, принципы изоморфизма и иерархии, постулированные на интуитивном уровне для общих систем П.К. Анохиным. Многочисленные схемы функциональных систем, предлагаемые в трудах физиологов школы П.К.Анохина-К.В.Судакова, доработаны до категорных диаграмм. Аналогичная работа проделана для химических формул и модели «атомы в молекулах» по Бейдеру [Tolokonnikov, 2021(*a,b*)] возникшее направление категорной химии применяется для категорного моделирования молекул ДНК и РНК. Строгие алгебраические модели биомолекул предложены в качестве новых методов для алгебраической биологии, в которой, таким образом, становится возможным учитывать алгебраические свойства биомолекул для работы с геномом. Содержание работы, включая системные исследования, является продолжением работ в направлении проблемы поиска формализмов для алгебр наблюдаемых новых физических теорий. Первоначально эта проблема, инициированная рядом вопросов квантовой теории поля, была поставлена для гамильтоновых механик Ю.М. Широковым, давшим аксиоматику таких механик [Широков, 1975]. В дальнейшем эта же проблема была поставлена Р.Пенроузом в контексте поиска формализмов новых физических теорий более подходящих, чем известные формализмы, для описания феномена сознания [Пенроуз, 2003]. Проблема восстановления гамильтонова формализма для неголономных механических систем, успешно решенная В.В. Козловым [Козлов, 1982-1988], также привела к новой механике, названной вакономной механикой. Имеются и другие направления поиска формализмов физических теорий, например, механика Намбу [Nambu, 1973] и другие.

Алгебра наблюдаемых гамильтоновых теорий по указанной аксиоматике имеет две бинарные операции $\pi$, $\sigma$ (аналоги ассоциативного умножения операторов и коммутатора), удовлетворяющие следующим тождествам ($A$, $B$, $C$ - наблюдаемые)

$$\sigma A\pi BC=\pi\sigma ABC+\pi B\sigma AC$$
$$\sigma A\sigma BC=\sigma\sigma ABC+\sigma B\sigma AC$$
$$\sigma AB+\sigma BA=0$$

Если операция $\pi$ ассоциативна, то дополнительно имеет место тождество

$$\pi A\pi BC=\pi\pi ABC \quad .$$

Очевидно, в алгебре наблюдаемых должны быть в первую очередь координаты, импульсы, моменты количества движения и другие наблюдаемые, являющиеся полиномами от импульсов и координат.

Билинейные бинарные операции умножения на полиномах для квантовой механики можно выразить в виде псевдодифференциальных операторов как рядов от операций дифференцирования, так при стандартном квантовании (в единицах с постоянной Планка равной 1, $i^2$=-1) имеем

$$\pi AB=\pi A(x_1,p_1)B(x_2p_2)=\omega\exp(i\partial_{x_2}\partial_{p_1})A(x_1,p_1)B(x_2p_2)=$$
$$=(1+i\partial_{x_2}\partial_{p_1}+...)A(x_1,p_1)B(x_2p_2)|_{1=2},$$

Если принять, что операция умножения не зависит от точки фазового пространства, то она является рядом от дифференцирований, то есть операции $\pi=\omega\pi(\partial_1,\partial_2)$, $\sigma=\omega\sigma(\partial_1,\partial_2)$ (заменяем $\partial_1,\partial_2,\partial_3$ на формальные переменные $x$, $y$, $z$) удовлетворяют функциональным уравнениям:

$$\sigma(x,y)\sigma(x+y,z)+\sigma(y,z)\sigma(y+z,x)+\sigma(z,x)\sigma(y+z,x)=0,$$
$$\sigma(x,y)+\sigma(y,x)=0,$$
$$\sigma(x,y+z)\pi(y,z)=\pi(x+y,z)\sigma(x,y)+\pi(y,x+z)\sigma(x,z) \quad .$$

Тождество ассоциативности приводит к уравнению

$$\pi(x,y)\pi(x+y,z)=\pi(y,z)\pi(x,y+z) \quad .$$

Общее решение системы приведённых четырех функциональных уравнений даёт классификацию гамильтоновых ассоциативных механик, среди которых заведомо имеется классическая и квантовая механики. При этом такая классификация отвечает на весьма интересный для физиков вопрос о том какие, вообще, есть квантования, имеются вейлевское, виковское, упомянутое стандартное с $\pi=\omega\exp(i\partial_{x_2}\partial_{p_1})$ и другие квантования, есть ли ещё квантования помимо известных и нельзя ли их все перечислить. Действительно, любое квантование определяет операцию умножения, удовлетворяющую ассоциативности и указанному функциональному уравнению.

Уже в решении указанного уравнения появились приёмы, вошедшие в метод функциональных уравнений в теории алгебр, разработанный автором [Толоконников, 1986, 1988]. Общая задача, в которую входит поиск алгебр наблюдаемых новых физических теорий состоит в следующем.

Пусть $K[x], x=(x_1,\dots,x_n)$ кольцо полиномов над полем $K$ нулевой характеристики, $\partial_i=\partial/\partial x_i$ - дифференцирования кольца $K[x]$. Элемент $\Omega(x,\partial^1,\dots,\partial^m)$ левого $K[x]$-модуля $K[x][[\partial^1,\dots,\partial^m]]$ формальных степенных рядов по переменным $\partial^i=(\partial^i_1,\dots,\partial^i_n), i=1,\dots,m$ с коэффициентами из $K[x]$ задаёт на $K[x]$ $m$-арную $K$-линейную операцию $\Omega$, $\omega$-диагональная проекция $\omega: K[x^1,\dots,x^m]\to K[x]$, определяемая на базисе в $K[x^1,\dots,x^m]$ посредством формулы

$$\omega(x^1)^{\alpha_1}\dots(x^m)^{\alpha_m}=x^{\alpha_1+\dots+\alpha_m}$$

и распространяемая на остальные элементы по линейности.

Здесь и ниже используются стандартные мультииндексные обозначения: $\alpha_i$ - набор $n$ целых неотрицательных чисел.

Указанная операция $\Omega$ в этих обозначениях задаётся формулой

$$\Omega A_1\dots A_m=\omega\Omega(x^1,\partial^1,\dots,\partial^m)A_1(x^1)\dots A_m(x^m)=$$
$$=\sum_{\alpha}\Omega_{\alpha_1\dots\alpha_m}(x)\partial^{\alpha_1}A_1(x)\dots\partial^{\alpha_m}A_m(x),\ \Omega(x^1,\partial^1,\dots,\partial^m)\in K[x][[\partial^1,\dots,\partial^m]].$$

Формальный ряд $\Omega(x^1,\partial^1,\dots,\partial^m)$ называется ***ядром*** операции $\Omega$. Диагональную проекцию удобно представить в виде композиции $K$-линейных отображений

$$\omega A(x^1,\dots,x^m)=\omega_0(\omega_{12}(\dots\omega_{m-1\,m}A(x^1,\dots,x^m)\dots)),\ A\in K[x^1,\dots,x^m],$$

задаваемых на базисе в $K[x]$ и в $K[x^1,\dots,x^m]$ посредством формул

$$\omega_0(x^j)^\alpha=x^\alpha,\ \omega_{ij}f=f|_{x^i=x^j},\ f\in K[x^1,\dots,x^m]\ .$$

Если ввести обозначение $\omega_{i_1\dots i_g}=\omega_{i_1i_2}*\omega_{i_2i_3}*\dots*\omega_{i_{g-1}i_g}$, где $*$ композиция $K$-векторных эндоморфизмов $End_K K[x^1,\dots,x^m]$ кольца $K[x^1,\dots,x^m]$, то предыдущее запишется в виде $\omega A=\omega_0(\omega_{12\dots n}A)$.

При использовании $\omega_{ij}$ операций правило Лейбница для дифференцирований $\partial_\mu=\partial/\partial x_\mu, \partial^i_\mu=\partial/\partial x^i_\mu$ запишется так

$$\partial^i_\mu*\omega_{ij}=\omega_{ij}*(\partial^i_\mu+\partial^j_\mu),\ \partial_\mu\omega_0A(x^1)=\omega_0\partial^1_\mu A(x^1),\ A\in K[x].$$

Существует $m$ таких естественных вложений, $id_j, j=1,2,\dots,m$, что

$$id_j: K[x][[\partial^1,\dots,\partial^m]]\to End_K K[x^1,\dots,x^m],$$
$$id_j\Omega(x,\partial^1,\dots,\partial^m)=\Omega(x^j,\partial^1,\dots,\partial^m),$$

причём 111 $\Omega(x^j,\partial^1,\dots,\partial^m)$ определяет $K$-векторный эндоморфизм кольца 222 $K[x^1,\dots,x^m]$ по формуле

$$\Omega(x^j,\partial^1,\dots,\partial^m)A(x^1,\dots,x^m)=\sum_{\alpha_1,\dots,\alpha_m}\Omega_{\alpha_1\dots\alpha_m}(x^j)\partial^\alpha_1\dots\partial^\alpha_m A(x^1,\dots,x^m).$$

Удобно кольца полиномов 333 $K[x^1,\dots,x^m]$ рассматривать в качестве подколец кольца 444 $K[x^1,\dots,x^m,\dots]$ полиномов счётного числа переменных 555 $x^1,\dots,x^m,\dots$, а 666 $End_K K[x^1,\dots,x^m]$ - в качестве подколец кольца 777 $End_K K[x^1,\dots,x^m,\dots]$, именно каждый эндоморфизм 888

$\alpha \in End_K K[x^1,\dots,x^m]$ индуцирует эндоморфизм 999 $\tilde{\alpha} \in End_K K[x^1,\dots,x^m,\dots]$, определенный соотношением 10 $\tilde{\alpha} f = \alpha f_m$, где 11 $f_m \in K[x^1,\dots,x^m] \subset K[x^1,\dots,x^m,\dots]$ и 12 $f - f_m$ является элементом идеала в 13 $End_K K[x^1,\dots,x^m,\dots]$, порожденного множеством $\{x^j \mid j > m\}$.

Композицию $K$-векторных эндоморфизмов кольца $End_K K[x^1,\dots,x^m]$ будем также обозначать звездочкой $*$:

$$(\Omega_1 * \Omega_2) A = \Omega_1(\Omega_2 A), \Omega_1, \Omega_2 \in End_K K[x^1, x^2, \dots], A \in K[x^1, x^2, \dots].$$

Обозначим множество конечноместных операций $K$-полилинейных на $K[x]$ через $\Omega^{(\infty)} = \cup_{i=1}^{\infty} \Omega^{(i)}$, $\Omega^{(i)}$ - множество $K$-полилинейных операций на $K[x]$ арности $i$.

Множество операций $\Omega^{(m)}$ на $K[x]$ фиксированной арности является $K$-векторным пространством

$$(\sum_i a_i \Omega_i) A_1 \dots A_m = \sum_i a_i \Omega_i A_1 \dots A_m, a_i \in K, i = 1,2,\dots, \Omega_i \in \Omega^{(m)}.$$

Отметим важное подкольцо кольца $End_K \Omega^{(m)}$, индуцированное эндоморфизмами $End_K K[x]$, а именно, каждый элемент $U \in End_K K[x]$ продолжается до эндоморфизма $\hat{U} \in End_K \Omega^{(m)}$ по формуле

$$(\hat{U}\Omega)(x, \partial^1, \dots, \partial^m) = \sum_{\alpha_1 \dots \alpha_m} U \Omega_{\alpha_1 \dots \alpha_m}(x) (\partial^1)_1^{\alpha} \dots (\partial^m)^{\alpha_m},$$

где $\Omega(x, \partial^1, \dots, \partial^m) = \sum_{\alpha_1 \dots \alpha_m} \Omega_{\alpha_1 \dots \alpha_m}(x) (\partial^1)_1^{\alpha} \dots (\partial^m)^{\alpha_m}$ - ядро операции $\Omega$.

Эндоморфизм 001 $\hat{U}$ имеет вид

$$(\hat{U}\Omega)(x, \partial^1, \dots, \partial^m) = U(x, \hat{\partial}) \Omega(x, \partial^{1,} \dots, \partial^m),$$

где $\hat{\partial} = (\hat{\partial}/\partial x_1, \dots, \hat{\partial}/\partial x_n)$ - набор операторов дифференцирования ряда $\Omega(x, \partial^1, \dots, \partial^m)$ по переменным $x_1, \dots x_n$, оператор $\hat{\partial}$ снабжен шляпкой, чтобы отличать его от $\partial^1, \dots, \partial^m$ являющихся в $K[x][[\partial^1, \dots, \partial^m]]$ формальными переменными.

Операцию композиции эндоморфизмов из $End_K \Omega^{(m)}$ обозначим также через $*$ Аналогично продолжаются отображения $\omega_0, \omega_{ij}$:

$$\hat{\omega}_0 \Omega(x^{1,} \partial^1, \dots, \partial^m) = \Omega(x, \partial^1, \dots, \partial^m), \hat{\omega}_{ij} \Omega(\dots, x^i, \dots, x^j, \dots \partial^1, \dots, \partial^m) =$$
$$= \Omega(\dots, x^i, \dots, x^i, \dots \partial^1, \dots, \partial^m), \hat{\omega}_{i_1 \dots i_g} = \hat{\omega}_{i_1 i_2} * \hat{\omega}_{i_2 i_3} * \dots * \hat{\omega}_{i_{g-1} i_g}$$
$$\hat{\omega}\Omega = \hat{\omega}_0(\hat{\omega}_{1\dots m}\Omega), \Omega \in K[x^1, \dots, x^m][[\partial^1, \dots, \partial^m]].$$

Можно показать [Толоконников, 1988], что операция дифференцирования $D_j = \partial/\partial(\partial_j)$ по переменным $\partial_j$ кольца формальных рядов $K[x][[\partial]], x = (x_1, \dots, x_n)$ удовлетворяет соотношению

$$D_j(U * V) = (D_j U) * V + U * D_j V, U, V \in K[x][[\partial]].$$

Операции $\hat{\omega}, \hat{\omega}_0, \hat{\omega}_{\alpha\beta}$ коммутируют с $D_j(\alpha, \beta = 1, \dots, n)$:

$$D_j \hat{\omega} U = \hat{\omega} D_j U, D_j \hat{\omega}_0 U = \hat{\omega}_0 D_j U, D_j \hat{\omega}_{ij} U = \hat{\omega}_{ij} D_j U.$$

Конечноместные операции образуют частичную алгебру $\{\Omega,*\}$ по отношению к их композиции, также обозначенной звёздочкой, что при учёте контекста не приводит к путанице. Для композиции $U*V$ эндоморфизмов из $End_K K[x]$, как можно показать, имеется явная формула

$$(U*V)(x,\partial)=\breve{\omega}\exp\{\sum_{j=1}^{n}\hat{\partial}_{x_j^2}D_j^1\}U(x^1,\partial^1)V(x^2,\partial^2),$$

где $U(x^1,\partial^1), V(x^2,\partial^2)$ ядра операторов, $D_j^1$ дифференцирование формального ряда $U(x^1,\partial^1)$ по формальной переменой $\partial_j^1$, $\hat{\partial}_{x_j^2}$ - дифференцирование формального ряда $V(x^2,\partial^2)$ по формальной переменной $x_j^2$, $\breve{\omega}$ - диагональная проекция как по переменным $x_j$, так и по $\partial_j$, то есть $\breve{\omega}A(x^1,x^2,\partial^1,\partial^2)=A(x,x,\partial,\partial)\in K[x][[\partial]]$.

Оператор $U=End_K K[x]$ определён для любой операции из $\{\Omega,*\}$. От частичной алгебры $\{\Omega,*\}$ с помощью обратимого оператора $U=Aut_K\Omega^{(m)}$, который является продолжением $U=Aut_K k[x]$ можно перейти к эквивалентной частичной алгебре $\{\Omega,\circ\}$ с частичной операцией $\overset{\circ}{}$

$$\hat{U}(\Omega_1*\Omega_2)=\hat{U}\Omega_1\circ\hat{U}\Omega_2,$$

для которой оператор $D_j$ является дифференцированием.

Наконец, мы можем сформулировать обещанную ключевую задачу метода функциональных уравнений в теории алгебр.

Пусть на $K[x]$ задана *m*-арная *K*-линейная операция *Ω*, удовлетворяющая тождеству, представимому в виде

$$\xi=0,$$

где *ξ* линейная комбинация с коэффициентами из *K* производных для операции *Ω* операций одинаковой арности *a*. Например, для операций в алгебрах над полем нулевой характеристики можно без потери общности ограничиться рассмотрением полилинейных, так как в этом случае любое тождество эквивалентно системе полилинейных *ξ* [Жевлаков, 1978]. Более того, для этого случая А.И.Мальцев [Мальцев, 1950] задачу описания возможных тождеств свёл к перечислению неэквивалентных неприводимых представлений симметрических групп. Ядро 001 $\xi(x,\partial^1,\ldots,\partial^m), a\geq m$ операции *ξ* может быть вычислено по ядру операции 002 $\Omega$, если воспользоваться введенными выше понятиями и определениями. Таким образом, каждое тождество порождает *-операторное функциональное уравнение для ядра операции 003 $\Omega$

$$\xi(x,\partial^1,\ldots,\partial^m)=0. \qquad (*)$$

Например, если π ассоциативная бинарная операция, то равенство нулю ассоциатора приводит для ядра 004 $\pi(x,\partial^1,\partial^2)$ к *-операторному функциональному уравнению ассоциативности

$$\omega\{\pi(x^1,\partial^1+\partial^2,\partial^3)*\pi(x^1,\partial^1,\partial^2)-\pi(x^1,\partial^{1,}\partial^2+\partial^3)*\pi(x^2,\partial^2,\partial^3)\}=0.$$

При наличии в универсальной алгебре нескольких операций различной арности имеющиеся в алгебре тождества приводят к системе *-операторных уравнений (*).

Так, аксиомы для алгебр наблюдаемых гамильтоновых механик приводят к системе *-операторных уравнений

$$\omega\{\sigma(x^1,\partial^1,\partial^2+\partial^3)*\sigma(x^2,\partial^2,\partial^3)-\sigma(x^1,\partial^1+\partial^2,\partial^3)*\sigma(x^1,\partial^1,\partial^2)-$$
$$-\sigma(x^1,\partial^{2,}\partial^1+\partial^3)*\sigma(x^1,\partial^1,\partial^3)\}=0,$$
$$\omega\{\sigma(x^1,\partial^1,\partial^2+\partial^3)*\pi(x^2,\partial^2,\partial^3)-\pi(x^1,\partial^1+\partial^2,\partial^3)*\sigma(x^1,\partial^1,\partial^2)-$$
$$-\pi(x^1,\partial^{2,}\partial^1+\partial^3)*\sigma(x^1,\partial^1,\partial^3)\}=0,$$
$$\sigma(x^1,\partial^1,\partial^2)+\sigma(x^1,\partial^2,\partial^1)=0.$$

Системы *-операторных функциональных уравнений впервые введены автором, также им найдены общие решения ряда таких систем, инвариантных относительно некоторых групп Ли. В частности, обсуждаемые уравнения с ядрами операций, не зависящими от самих переменных 005 $x=(x_1,\dots,x_m)$ , относятся к алгебрам, инвариантным относительно группы сдвигов.

Итак, если на алгебру наблюдаемых гамильтоновой теории наложить выполняющееся в квантовой и классической механиках естественное условие, что она содержит полиномы и что операции линейны по каждому из сомножителей, то тогда алгебры наблюдаемых всех возможных физических теорий лежат среди решений указанной системы *-операторных функциональных уравнений.

Общее решение указанных уравнений даёт полную классификацию гамильтоновых алгебр и, тем самым, всех возможных гамильтоновых механик.

Постепенно были решены функциональные уравнения для тождеств хоть как-то относящихся к физике, были классифицированы трансляционно инвариантные альтернативные, йордановы, бинарно-лиевы алгебры, алгебры близкие к ассоциативным, наконец, появились классы новых алгебр в результате решения *-операторных функциональных уравнений. Сформировался некоторый инструментарий приёмов, который составил метод функциональных уравнений в теории алгебр.

Уровень трудностей при решении *-операторных уравнений можно оценить несколькими «побочными» задачами, которые удалось решить в процессе поиска новых алгебр наблюдаемых. Одна из таких задач состоит в известной нерешенной проблеме суммирования рядов Бейкера-Кэмпбелла-Хаусдорфа в формальной теории групп (не ясно как приводить подобные члены из разрастающегося числа коммутаторов при суммировании рядов), с этими рядами связаны версии вычисления интеграла Фейнмана по путям. Важным примером является уравнение ассоциативности, связанное с квантовым уравнением Янга-Бакстера, для которого методом функциональных уравнений

удалось найти первое общее решение для простейшей из неполупростых алгебр Ли. Приведём для примера вычисленную [Толоконников, 1987] методом функциональных уравнений (где просуммирован ряд Бейкера-Кэмпбелла-Хаусдорфа для группы Лоренца) операцию умножения (аналог приведённого выше стандартного умножения 006 $\pi A B = \omega \exp(i \partial_{x_2} \partial_{p_1}) A(x_1, p_1) B(x_2 p_2)$ )

$$(\pi AB)(\alpha, \ldots, \mu) = \omega\pi(\alpha, \ldots, \partial^2) A(\alpha_1, \ldots, \mu_1) B(\alpha_2, \ldots, \mu_2);$$

$$\ln \pi(\alpha, \ldots, \partial^2) = -\alpha\partial_{\alpha_2} - \nu\partial_{\nu_2} - \mu\partial_{\mu_1} - \beta\partial_{\beta_1} - \gamma \ln R + 2w\Delta + R \exp(-\partial_{\gamma_1}) \{[\nu\partial_{\nu_2} + \alpha\partial_{\alpha_2} +$$

$$+ (\nu\partial_{\mu_1} - \alpha\partial_{\beta_1})(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})/2] \cos \partial_{w_1} + [\alpha\partial_{\nu_2} - \nu\partial_{\alpha_2} + (\alpha\partial_{\mu_1} + \nu\partial_{\beta_1})(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})/2] \sin \partial_{w_1}\} +$$

$$+ 2 \exp(-\partial_{\gamma_2})(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})^{-1} \{(\beta\partial_{\nu_2} + \mu\partial_{\alpha_2}) \sin \partial_{w_2} + (\mu\partial_{\nu_2} - \beta\partial_{\alpha_2}) \cos \partial_{w_2} - R[\mu\partial_{\nu_2} - \beta\partial_{\alpha_2} +$$

$$+ (\beta\partial_{\beta_1} + \mu\partial_{\mu_1})(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})/2] \cos(\partial_{w_2} + 2\Delta) -$$

$$- R[\beta\partial_{\nu_2} + \mu\partial_{\alpha_2} + (\beta\partial_{\mu_1} - \mu\partial_{\beta_1})(\partial^2_{\alpha_2} + \partial^2_{\nu_2})/2] \sin(\partial_{w_2} + 2\Delta)\},$$

*где*

$$\Delta = \arcsin\left(\partial_{\nu_2} \Big/ \sqrt{\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\nu_2}}\right) - \arcsin\left([2\partial_{\nu_2} + \partial_{\mu_1}(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})] \Big/ 2\sqrt{R(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})}\right),$$

$$R = [1 + \partial_{\mu_1}\partial_{\nu_2} - \partial_{\beta_1}\partial_{\alpha_2} + (\partial^2_{\mu_1} + \partial^2_{\beta_1})(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})/4]^{-1}, \; A, B \in \mathfrak{A}.$$

В последние десятилетия 20 века развивалось два важнейших для проблемы поиска новых формализмов для алгебр наблюдаемых направления. Первое, что имеется в виду, это выход в свет книг Р.Пенроуза [Пенроуз, 2003], в которых он демонстрирует недостаточность имеющихся физических теорий для описания феномена сознания и ***ставит задачу поиска новых физических теорий*** для столь фундаментальной проблемы человечества. Здесь и сильный искусственный интеллект и «может ли машина мыслить?»... Но на этом мы здесь не будем останавливаться.

Второе, это осознание и развертывание того, что Васюков В.Л. называет «плюрализмом» [Васюков, 2012], означающим существование многочисленных логик, математик и, добавим, физик... Первопроходцами здесь являются, безусловно, ученые Казанской математической школы Н.И.Лобачевский, открывший неевклидову геометрию, и П.С.Порецкий, предложивший и изучавший первую трехзначную логику [Порецкий, 1884].

Неизбежный этап в развитии обсуждаемого направления состоит в обращении к теории систем. Очевидно, и никто не будет спорить, что бывает несколько типов теорий, физическая, химическая, биологическая и тому подобное. Поэтому естественно перейти от термина «физической теории» к «теории физических ***систем***», соответственно, к теориям химических, биологических и других систем. А сама теория систем есть наука наук, как теперь общепризнанно (см., например, [Yi-Lin Forrest, 2018]). Тут, однако, всплывает редукционизм, часто встречающийся у физиков, как сведение химии к физике, биологии к физике и... признание феномена сознания в качестве физического явления, для которого Р.Пенроуз поставил задачу отыскать

подходящую ***физическую*** теорию. Но сознание проявляется, например, в функциональных системах в акцепторе результата действия... Р. Пенроуз ничего не говорит о сведении функциональных систем к физическим. Возможно, сведение будет происходить не в прямом смысле, а в погружении универсума функциональных систем в универсум систем физических или даже наоборот. Как вариант, мы далее обсуждаем системы с составным системообразующим фактором. По-видимому, подход здесь должен опираться на некую функционально-физическую систему, причем должен быть математический аппарат, точно описывающий такой вид систем. И этот аппарат суть ***новая физическая*** и одновременно ***физиологическая теория***. Редукционизм есть и в самой физике, например, в виде сведения классической механики к квантовой. Теория систем предлагает взаимоотношения теорий рассматривать на своем системном уровне и языке. Простейший вариант редукционизма состоит в построении некоторого морфизма (предельного перехода, рассмотрения как подтеории и тому подобное) из одной теории в другую теорию. В фундаментальной работе Ю.М.Широкова по аксиоматике гамильтоновых механик [Широков, 1975] показано, что такого морфизма из квантовой механики в классическую нет, а взаимоотношение теорий описывается на другом уровне и языке.

Экскурс в системный подход ошеломляет несколькими десятками самого определения понятия системы. Однако все подходы (включая строгие подходы математических теорий систем) кроме теории функциональных систем, как это продемонстрировал П.К. Анохин [Анохин, 1973] грешат полным отсутствием ссылок на механизм, который из разрозненных частей, собственно, и собирает систему. Именно, этот механизм П.К.Анохин назвал системообразующим фактором и поставил его во главу угла самого понятия системы. Интуитивные построения П.К.Анохина, К.В.Судакова и их школы, в частности, в виде многочисленных схем функциональных систем, автор формализовал в категорной теории систем, используя язык категорных склеек и свёрточных поликатегорий. Замечательным образом схемы функциональных систем получили при определённой модернизации статус категорных диаграмм, на которые эти схемы очень похожи. Можно даже говорить об определённой изначальной формализации теории функциональных систем с помощью этих схем. Отметим, что формализованные в категорной теории систем постулаты для систем, данные П.К.Анохиным, немедленно выводят на категорный язык и широкий класс универсумов, отличных от традиционного универсума теории множеств [Толоконников, 2018].

### *3. Категорные склейки*

3.1. Поликатегории ввёл в 1985 г. Сабо [Szabo, 1975] как набор полистрелок, композиция которых определена аналогично композиции стрелок

и мультистрелок в категориях и мультикатегориях. Полистрелки имеют входы и выходы, ими естественно моделировать нейроны. Однако, связи нейронов, наблюдаемые в мозге (см. [Сидоров, 2012], [Anastassiou, 2011]), существенно богаче тех возможностей, которые может обеспечить композиция поликатегорий Сабо. Теория поликатеорий Сабо находит применения (см. [Shulman, 2020]), но весьма сложна, работа с ними "вручную", как это делает Сабо со слов Р. Гарнера, сталкивается с проблемами [Garner, 2008]. Для случая симметричных поликатегорий Р. Гарнер построил их представление в виде монад в подходящей двухсторонней бикатегории Клейсли. Построенное Г. Гарнером представление обобщает аналогичное известное представление мультикатегорий в виде моноидов в категориях распорок [Burroni, 1971], [Hermida, 2000], [Leinster, 2004]. Попытка подобного обобщения для произвольных поликатегорий в [Koslowski, 2005] не привела к окончательному построению представления поликатегорий. Сабо ввёл поликатегории для задач логики, где правила вывода представляют собой в подходе Генцена полистрелки (коньюнкции посылок переводятся в дизьюнкции формул) и соединяются они между собой с помощью одного выхода первой и одного входа другой полистрелки. Такое ограничение в способах соединения полистрелок до некоторой степени снимается в PROP, введенных Маклейном [MacLane, 1965] (и в их разновидностях диоперадах и др., см. [Graves, 2020], а также обзор Markl M. Operads and PROPs, 2006, arXiv:math/0601129v3).

В нашем подходе мы исходим из нужд моделирования соединений нейронов в мозге, для чего не хватает соединений в виде изучаемых композиций полистрелок в поликатегориях Сабо и PROP, и теории систем, когда необходимо не только собирать систему из будущих подсистем, но и раскладывать ее на подсистемы. Для этого мы заменяем композиции полистрелок новым более общим видом связей, называемых свёртками, вводим и используем категорные склейки, из которых строятся поликатегории с явным заданием истории получения полистрелок (аналог нерва в категориях) [Толоконников, 2016, 2017, 2018, 2021].

3.2. Рассмотрим счётное число сортов с переменными и функциональными символами проекций $x_k^{(i)}, C^{(j)}, i, j, k \in \mathbb{N}$ .

Вводим функциональные символы $\xi_{ij}$ вида $(i \to j)$ со свойствами

$$\xi_{ij}\xi_{ji}x_k^{(i)} = x_k^{(i)}, i \neq j \ .$$

Для каждого *i* обозначим $\check{C}_i^{(j)} = \xi_{ij} C^{(j)} \xi_{ji}$ и вводим аксиомы

$$\check{C}_i^{(k)}\check{C}_i^{(j)} = \check{C}_i^{(l)} \quad ( \ \check{C}_i^{(i)}\check{C}_i^{(i)} = \check{C}_i^{(i)}, i, j, k \in \mathbb{N} \ ).$$

Таким образом, функциональные символы образуют (мета)алгебру, с таблицей умножения, отвечающей последним аксиомам.

Вводим обозначения для формул $Ob^{(i)}(x^{(i)}) \stackrel{\text{def}}{=} (x^{(i)} =_i C^{(i)}(x))$ , а также переменные $a_k^{(i)}, k = 1,2,3...$ (объекты, области) сорта *i*, ограниченные на

совокупность, состоящую из $Ob^{(i)}(x^{(i)})$ , и ограниченные кванторы

$$\forall^{Ob} a_k^{(i)} W(a_k^{(i)}) \stackrel{\text{def}}{=} \forall x^{(i)}(Ob(x^{(i)}) \supset W(x^{(i)})),$$
$$\exists^{Ob} a_k^{(i)} W(a_k^{(i)}) \stackrel{\text{def}}{=} \exists x^{(i)}(Ob(x^{(i)}) \wedge W(x^{(i)})).$$

Вводим предикаты равенства вида $(i \to j)$ $x^{(i)} =_{ij} x^{(j)} \stackrel{\text{def}}{=} (x^{(i)} =_i \xi_{ij} x^{(j)})$ .

Вводим для каждого сорта набор базовых функциональных символов $\mu_l^{(i)}, \nu_l^{(i)}, ..., l = 1,2,...$ , называемых *n*-арными операциями, *n*=0,1,2,3,... и набор ***тождеств***, как равенств термов одного сорта $t_m^{(i)} = t_k^{(i)}$ . Вводим счётное число $\alpha = 1,2,3,... \in \mathbb{N}$ указанных наборов сортов, для обозначения чего добавим дополнительный индекс, другими словами, рассматриваем уже переменные, символы, равенства, тождества и изоморфизмы, соответственно, $x_k^{(i,\alpha)}, C^{(i,\alpha)}, \mu_l^{(i,\alpha)}, ..., =_{i,\alpha,i',\alpha'}, \xi_{ij}^{(\alpha)}$ , отметим, что изоморфзимы, в отличие от равенств, не действуют между сортами для различных $\alpha$.

*Определение*

***Сигнатура*** - набор функциональных букв проекций и операций $C^{(i)}, \mu_l^{(i)}$ .

Вводим три копии сортов $x_k^{(i,\alpha)}, C^{(i,\alpha)}, \mu_l^{(i,\alpha)}, ..., =_{i,\alpha,i',\alpha'}, \xi_{ij}^{(\alpha)}$ , первая из которых используется для ***внешних свёрток***, в ней все буквы для их отличия от основных букв ***внешней склейки*** наделяются штрихом $x'^{(i,\alpha)}_k, C'^{(i,\alpha)}, \mu'^{(i,\alpha)}_l, ..., ='_{i,\alpha,i',\alpha'}, \xi'^{(\alpha)}_{ij}$ , вторая используется для ***внутренних свёрток*** и наделяется, помимо штриха, еще надчеркиванием $\bar{x}'^{(i,\alpha)}_k, \bar{C}'^{(i,\alpha)}, \bar{\mu}'^{(i,\alpha)}_l, ..., \bar{=}'_{i,\alpha,i',\alpha'}, \bar{\xi}'^{(\alpha)}_{ij}$ , третья используется для ***внутренней склейки*** и наделяется только надчеркиванием $\bar{x}_k^{(i,\alpha)}, \bar{C}^{(i,\alpha)}, \bar{\mu}_l^{(i,\alpha)}, ..., \bar{=}_{i,\alpha,i',\alpha'}, \bar{\xi}_{ij}^{(\alpha)}$ .

*Определение*

***Полной базовой склейкой*** называется формула, составленная из конъюнкций формул

$$a_k^{(i,\alpha)} =_{i,\alpha} C^{(i,\alpha)}(x_k^{(i,\alpha)}), a'^{(i,\alpha)}_k ='_{i,\alpha} C'^{(i,\alpha)}(x'^{(i,\alpha)}_k),$$
$$\bar{a}'^{(i,\alpha)}_k =\bar{'}_{i,\alpha} \bar{C}'^{(i,\alpha)}(\bar{x}'^{(i,\alpha)}_k), \bar{a}_k^{(i,\alpha)} =\bar{}_{i,\alpha} \bar{C}^{(i,\alpha)}(\bar{x}_k^{(i,\alpha)})$$

и равенств $\eta_k^{(i,\alpha)} = \theta_m^{(j,\beta)}$ , $\eta_k^{(i,\alpha)}, \theta_m^{(j,\beta)}$ являются любыми из символов $a_n^{()}, x_m^{()}, n, m \in \mathbb{N}$ указанных сортов, знак равенства имеет соответствующие опущенные здесь индексы.

*Определение*

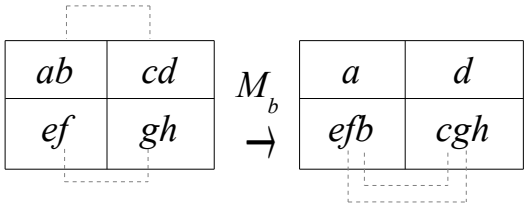
Разнесём коньюнкции для каждой формулы полных склеек по четырем ячейкам таблицы 2x2. В ячейку (1,1) размещаем нештрихованные и без надчеркивания букв подформулы ***внешних склеек.*** В ячейку (1,2) размещаем содержащие буквы со штрихами подформулы ***внешних свёрток.*** В ячейку (2,1) размещаем содержащие буквы с надчеркиванием подформулы ***внутренних склеек*** и в ячейку (2,2) размещаем содержащие буквы с надчеркиванием и штрихами подформулы ***внутренних свёрток***:

| | |
|---|---|
| $u$ | $v'$ |
| $\overline{w}$ | $\overline{r'}$ |

По построению формул полных склеек подформулы равенства содержат только те буквы переменных, которые встретились в подформулах вида $a=C(x)$ . Это позволяет знаки равенства исключить из таблицы, заменив формулы равенства пунктирами, соединяющими буквы переменных, входящие в равенства.

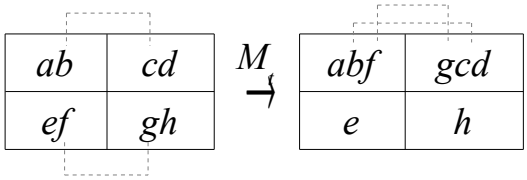
Зададим специфические для категорных склеек правила вывода $M_t, M_r, M_l, M_b$ , переводящие одни формулы полных склеек в другие.

$M_b$ перемещает в нижние ячейки из верхних те коньюнкции из формул, которые имеют соединения (одна из которых слева, другая справа),



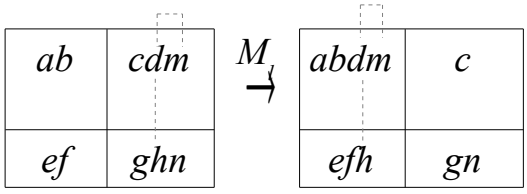

при перемещении задаётся изменение сортов, отвечающее определению $M_b$ .

$M_t$ перемещает в верхние ячейки из нижних те формулы, которые имеют соединения



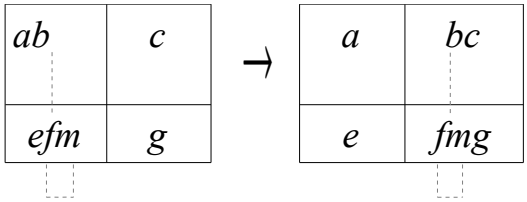

при перемещении задаётся изменение сортов, отвечающее определению $M_t$ .

$M_l$ перемещает связанные по вертикали и внутри пары из правых ячеек в левые




при перемещении задаётся изменение сортов, отвечающее определению $M_l$ .

$M_r$ перемещает связанные пары из левых ячеек в правые



при перемещении задаётся изменение сортов, отвечающее определению $M_r$ .

Вводится правило вывода *Ev*, и обратное ему $Ev^{-1}$, основанное на функциональных символах операций $\mu_l^{(i,\alpha)}$ и расстановке в соответствующих местах знаков =.

Применение свёртки, имеющейся в клетке (1,2) таблицы склейки, состоит из последовательного применения правил вывода $M_b$ , $M_l$ , *Ev*. Операция обратная указанной, состоит из последовательного применения правил вывода $Ev^{-1}$, $M_r$ , $M_t$ .

Вводим: правила вывода проекций $P_{k,l}, k, l = 1,2$ , проектирующие полную склейку в её части, $P_{k,l}$ переводит полную склейку в содержимое (*k,l*)-клетки таблицы; правила вывода стирания (знака равенства) $D_{k,l}, k, l = 1,2$ - стирание пунктира (знака равенства) в клетке (*k,l*).

*Определение*

***Полной склейкой*** называется базовая склейка, в которой переменные *x* (с индексами) заменены на термы формального языка сигнатуры из функциональных букв операций и проекций.

*Определение*

Поцедура применения свёртки, указанная выше для полных базовых склеек, дословно применима к полным склейкам и даёт индуктивное построение ***формульных термов***: полная базовая склейка и её $P_{k,l}$ -проекции являются формульными термами; если имеется формульный терм, то применение к нему свёртки также является формульным термом, как и его $P_{k,l}$ -проекции, и других формульных термов не имеется. Формульный терм, как полная склейка, разбивается на внешний, внешний и внутренний свёрточный и внутренний формульные термы.

Дадим определения для часто встречающихся разновидностей склеек.

*Определение*

Формула $a_k^{(i)} = C^{(i)} x_k^{(i)}$ называется ***элементарной внешней склейкой*** или ***элементарным внешним конусом***, соответственно формулы $a'^{(i)}_k = C'^{(i)} x'^{(i)}_k$ , $\bar{a}'^{(i)}_k = \bar{C}'^{(i)} \bar{x}'^{(i)}_k$ , $\bar{a}_k^{(i)} = \bar{C}^{(i)} \bar{x}_k^{(i)}$ , называем ***элементарной внешней свёрткой*** или ***элементарным внешним свёрточным конусом, элементарной внутренней склейкой*** или ***элементарным внутренним конусом, элементарной внутренней свёрткой*** или ***элементарным внутренним свёрточным конусом.*** Когда имеется ввиду один (или любой) из подобных конусов, при этом неважно какой, то говорим просто об элементарной склейке или элементарном конусе. Набор *n* элементарных конусов называется ***внешним n-конусом*** или просто ***внешним конусом***, когда неважно точное количество указанных равенств. Расстановкой штрихов и надчеркиваний получаем ***внешний свёрточный конус***, ***внутренний свёрточный конус*** и ***внутренний конус***. Таким образом, любая из четырех видов склеек состоит из набора

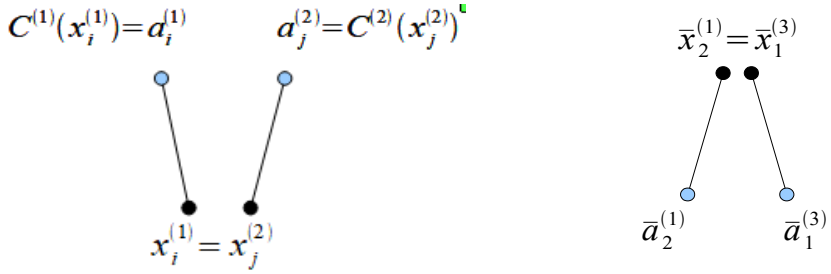
соответствующих конусов. ***Категорная склейка*** содержит по определению все возможные склейки, получаемые с помощью имеющихся свёрток.

Теперь мы можем дать определение теории категорных склеек.

*Определение*

***Формальной теорией категорных склеек*** называется сигнатура и набор тождеств вместе с совокупностью построенных выше формульных термов.

Следуя Хетчеру, введём аналогичные использованным в его книге [Hatcher, 1982] графические обозначения, например, для формулы $C^{(1)}(x_i^{(1)})=a_i^{(1)}\wedge C^{(3)}(x_j^{(2)})=a_j^{(2)}\wedge x_i^{(1)}=x_j^{(2)}$ имеем (в нижней строке таблицы графические изображения формул будем отражать зеркально снизу вверх, пример справа):




Построим категорную склейку для традиционной теории категорий

Вводим восьмиосновную формальную теорию, переменные $x_i^{(1)}, x_i^{(2)}, x_i^{(3)}, \dots, x_i^{(8)}$, функциональные буквы $C^{(1)}, C^{(2)}, C^{(3)}, \dots, C^{(8)}$, функциональные символы $\xi_{i,j}, i\neq j, i, j=1,2,3,\dots,8$ биекций, соответственно, вида $(j\to i)$, предикаты равенства $=_1, =_2, =_3, \dots, =_8$ в каждом сорте и предикат равенства = для разных сортов. Сорта отнесём к клеткам таблицы

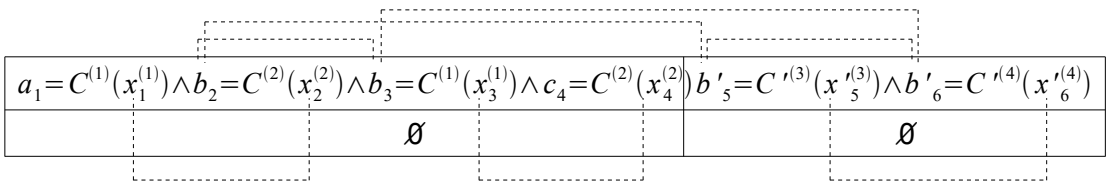
| | |
|---|---|
| 1,2 | 3,4 |
| 5,6 | 7,8 |

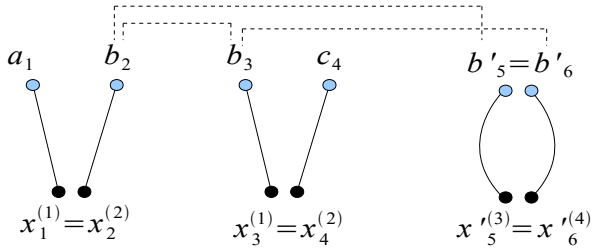
В обозначениях букв сохраним штрихи и надчеркивания, по которым удобно определять в какой клетке таблицы находится буква. Вводим новые переменные $a_k^{(i)}=C^{(i)}x_k^{(i)}, k\in\mathbb{N}$.

Внешние базовые склейки состоят из 2-конусов вида $a_k^{(1)}=C^{(1)}(x_k^{(1)})\wedge a_m^{(2)}=C^{(2)}(x_m^{(2)})\wedge x_k^{(1)}=x_m^{(2)}$. Необходимые внешние свёртки состоят из конусов вида

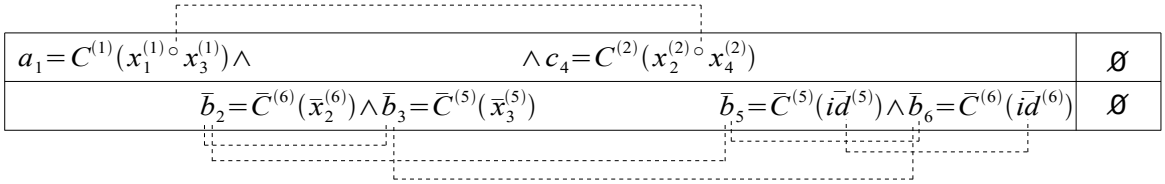
$$a'^{(3)}_i=C'^{(3)}(x'^{(3)}_i)\wedge a'^{(4)}_j=C'^{(4)}(x'^{(4)}_j)\wedge x'^{(3)}_i=x'^{(4)}_j\wedge a'^{(3)}_i=a'^{(4)}_j, i, j=1,2,\dots$$

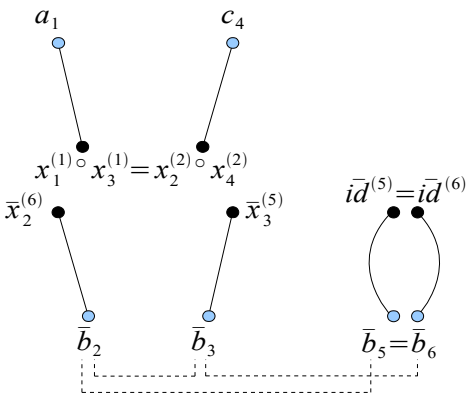
Пусть имеется склейка из двух конусов (соответствуют двум стрелкам), их произведение задаётся процедурой свёртки, задаем равенства между склейкой и свёрткой согласно приведённым ниже таблице и графическому обозначению






Применяем последовательно правила вывода $M_b$ , $M_l$ , $Ev$ получим




Накладывая на предикаты свойства ассоциативности и наличия единиц, мы получим формальную теорию, включающую стандартную формальную теорию категорий (см. [Hatcher, 1982]), при использовании $P_{1,1}$ -проекции в качестве дополнительного шага при проведении свёрток. проведение которых мы опустим,

Обычные категории реализуются известными процедурами интерпретации, и будучи моделями формальной теории категорий, являются тем самым моделями данной формальной теории категорных склеек. Подытожим проведённые построения в виде теоремы.

*Теорема*

Пусть задана произвольная категория, тогда существует формальная теория категорных склеек, для которой данная категория является моделью.

Аналогичная теорема имеет место для симплициальной категории, которая опирается на глобулярные множества, развиваются также категории на основе кубических множеств, ближайшим для симплициальной категории примером являются даблкатегории, введенные Эресманом [Ehresmann, 1963.], применяемые в частности, в конформной квантовой теории поля [Hu, 2007], в теории поликатегорий Сабо [Garner, 2006] и в других областях [Fiore, 2007], [Grandis, 2020]. Можно посторить категорную склейку, среди моделей которой имеются даблкатегории. Даблкатегория ***D*** является по определению [Fiore, 2007] категорным объектом в категории малых категорий ***Cat***. Построение проведено в [Толоконников, 2021], где доказана

*Теорема*

Пусть задана даблкатегория *D,* тогда существует категорная склейка, для

которой *D* является моделью.

Понятие категорной склейки охватывает основные алгебраические конструкции. Рассмотрим этот важынй вопрос. Под ***алгебраической теорией*** *T* понимают теорию первого порядка с равенством, сигнатурой, содержащей только функциональные буквы, которые называются *n*-арными операциями. При этом помимо букв для операций имеется несколько атомарных формул *s=t (s,t* - термы), называемых аксиомами (тождествами). Многие алгебраические структуры аксиоматизируются в первопорядковых формальных теориях.

Для групп имеем обычное определение при выборе в сигнатуру одной бинарной операции умножения, одной унарной операции взятия обратного элемента и одной нульарной операции, представляющей единицу. Операции удовлетворяют тождествам

$$x\cdot(y\cdot z)=(x\cdot y)\cdot z\,,\ x\cdot e=x\,,\ e\cdot x=x\,,\ x\cdot x^{-1}=e\,,\ x^{-1}\cdot x=e\ .$$

Однако, эквивалентным образом группу можно определить не тремя, а одной бинарной операцией деления *x:y* с аксиомами

$$(x:y):(y:z)=x:z\,,\ x:(y:y)=x\,,(x:x):(y:z)=z:y\ .$$

А, если взять двойное деление $x*y=x^{-1}\cdot y^{-1}$ , то группа определяется им и нульарной операцией единицы: $x\cdot y=(x*e)*(y*e),\ x^{-1}=x*e$ .

Кроме бинарной операции можно построить в группе *n*-арные операции для любого *n*. При обычном задании группы базовыми операциями и тождествами ввиду наличия различных заданий суть того, что же такое группа, скрывается за частными способами ее задания. Подлобная ситуация имеет место и для других струкутр общей алгебры.

Имеется категорная конструкция, снимающая эти вопросы.

Отделяя формальный язык от интерпретации группы в *Set*, можно ставить вопрос об интерпретации формальной теории групп в других категориях, отличных от *Set*. Однако, аналога понятия элемента множества (объекта) в других категориях может не быть, поэтому обычное по [Мальцев, 1970] понимание интерпретации не проходит. Для интерпретаций можно ограничиться категориями, имеющими произведения. Нужно только ответить на вопрос, куда перейдут при интерпретации переменные, если в алгебраических системах они переводились в элементы носителя, а при интерпретации в категориях у объектов нет элементов. Выход имеется, так как тождества в алгебрах можно сформулировать без использования элементов [Маклейн, 2004]. Необходимо перейти от обычной интерпретации формального языка алгебраической теории в ***Set*** к языку полностью интепретируемому с помощью стрелок категории *C*. Вопрос решается в синтаксических категориях $C_T$ , стрелками в которых являются классы эквивалентности термов, равных между собой за счёт имеющихся в теории тождеств, композиции стрелок представляются в виде подстановок. В основе этого подхода лежит

*Теорема*

Пусть задана алгебраическая теория *T* и ее синтаксическая категория 002 $C_T$ , тогда выполняется следующее: $C_T$ является категорией с конечными произведениями; категорное произведение в $C_T$ двух объектов $(x_1, ..., x_m)$ и $(x_1, ..., x_n)$ задается выражением $(x_1, ..., x_{m+n})$ ; всякая модель теории *T* в категории с конечными произведениями может быть получена с помощью сохраняющего произведения функтора.

Обсуждаемое представление объектов стрелками и переход к синтаксической категории позволил рассматривать алгебры со всей совокупнсотью операций в обобщении данном Ловером [Lawvere, 1963] .

*Определение*

***Алгебраическая теория*** по Ловеру - это малая категория с конечными произведениями, каждый объект которой представляется в виде степени объекта $A, A^1 = A, A^n = A \times ... \times A$ , при этом имеет место равенство $A^m \times A^n = A^{n+m}$ .

Синтаксическую категорию $C_T$ можно представить в виде алгебраической теории Ловера, стрелки, как и переменные, при этом остаются теми же, что и в $C_T$ . Детально в связи с категорными склейками эти вопросы рассмотрены в [Толокнников, 2021], где в частности, доказана

*Теорема.*

Пусть задана алгебраическая теория *T* и её синтаксическая категория *C,* тогда существует категорная склейка, для которой *C* является моделью.

Теорема позволяет заключить, что универсальные алгебры являются моделями категорных склеек. Аналогичные теоремы выполняются и для разнообразных высших категорий [Grandis, 2020]. Итак, категорные склейки охватывают основные категорные конструкции теории категорий и алгебры.

### *4. Свёрточные поликатгории и искусственные нейронные сети*

4.1. В этом разделе мы приведём основанное на категорных склейках определение свёрточных поликатегорий, введённых автором в [Толоконников, 2016] и рассмотрим представление нейронных сетей произвольной топологии в виде свёрточных поликатегорий со свёртками типа короны [Толоконников, 2016], [Tolokonnikov, 2020(*a*)]. Мы также расширим модель нейрона, которая использует свёрточные поликатегории до модели нейрона на основе склеек, что даёт возможность учитывать неспайковые коммуникации нейронов между собой и с другими клетками. В последние годы учёт неспайковых коммуникаций нейронов привлекает большой интерес [Кузнецов, 2018].

*Определение*

Категорная склейка называется ***свёрточной поликатегорией***, если она имеет ровно два типа сортов переменных ("входы" и "выходы"), алгебру проекций вида $C_i C_j = C_j, i, j = 1,2,3, ...$ со свёртками, соединяющими выходы

с входами, и являющимися конусами указанных сортов.

Свёрточные поликатегории достаточно подробно изучались в [Толоконников, 2016, 2017, 2018]. Перейдем к определению новой склеечной модели нейронов и их сетей.

Поликатегорная модель нейрона введена автором [Толоконников, 2016], входы и выходы полистрелок, представляющих нейроны, моделируют пути распространения спайков. Однако, межклеточные коммуникации намного богаче спайковой активности. Во многих исследованиях обнаружено влияние на спайковую активность со стороны других видов связей между нейронами. Появились модели нейронов [Кузнецов, 2018], учитывающие подобные взаимодействия.

*Определение*

Пусть задана модель категорной склейки, имеющей два выделенных сорта переменных, которые будем называть входами (*in*) и выходами (*out*) и *n* сортов переменных, которые будем называть сортами каналов неспайковой коммуникации. Пусть также эта модель состоит из наборов конусов из указанных $n_{\text{in}}+n_{out}+n$ сортов переменных. Тогда ***нейроном*** называется каждый из указанных конусов, а сама модель категорной склейки с имеющимися свертками называется ***категорной склеечной нейронной сетью***.

Поскольку склейки включают, как частные случаи свёрточные поликатегории и высшие категории, то данное определение с учетом наличия в склейках соответствующих свёрток носит весьма общий характер и имеет богатый инструментарий для моделирования связей большой сложности между нейронами, взаимодействующими не только с помощью спайков. В следующем пункте рассмотрено моделирование традиционных искусственных нейронных сетей свёрточными поликатегориями.

4.2. Один из основных имеющихся общепринятых подходов в теории нейронных сетей, именно, *PDP* (*Parallel Distributed Processing*), был в 1980-е годы выработан группой ученых физиологов, психологов, математиков, компьютерщиков, в члены которой, входил нобелевский лауреат Френсис Крик.

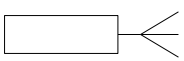
Модель нейронной сети *PDP* содержит три вида элементов, ***нейрон*** или сома (обрабатывающий элемент, сейчас это процессор или транспьютер), ***аксон*** (линия передачи сигналов) и ***синапс*** («стык» преобразующий сигнал с аксона в подходящий сигнал для сомы).

Нейронная *PDP* сеть в простейшем варианте образует «граф» с узлами в виде нейронов со следующими свойствами:

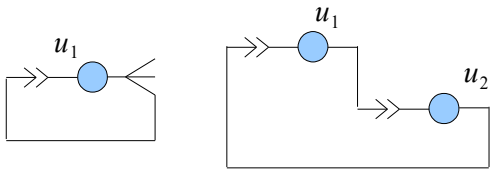
(а) к каждому синапсу подходит только одна линия; (б) к различным синапсам на данном нейроне подходят линии от различных нейронов; (в) линии передачи не ветвятся, являются обычными дугами графа.

Свойство (в), взятое из [Широков, 1990] стр.274, на самом деле требует, чтобы у нейрона было несколькоко выходов, это ***ошибочно*** не только потому,

что далее в тексте [Широков, 1990] нейрон выдаёт только один сигнал, но и потому, что затушевывается важнейшее свойство живых нейронных сетей, когда один выход соединяется с ***несколькими*** входами других нейронов. Здесь явно используется вариант свёртки, отличающийся от известного в теории категорий способа соединения стрелок с помощью композиций. В графических обозначениях из [Rumelhart, 1987] где описана *PDP* модель, пункт (в) призван заменить

 на 

что не удаётся, в примере из [Широков, 1990] стр. 275 на рисунке ниже снова появляется ветвление линий.




В нашем подходе нейрону мы в данной *PDP* модели сопоставляем полистрелку с входами в виде синапсов и выходом в виде линии, которая, как и аксон, расщепляется на несколько линий, идущих к другим нейронам.

В понятие графа входит по определению два множества, множество вершин и множество пар вершин. Обычно, инженеры-нейросетевики продолжают говорить о нейросети, как о графе, но когда им вместе с определением графа (с которым они соглашаются!) из нейросети предъявляется точка ветвления, которая не входит в граф, они попадают в затруднительное положение: ***нейронная сеть не является графом*** в обычном, как это соответствует приведенному определению смысле. И попытка (на рисунке) «убрать» эту точку ветвления в нейрон не случайна.

Основной современный стандарт нейроинформатики (см. [Голубев, 2005]) образуют нейроны, вычисляющие значение

$$a = f\left(Wx + b\right), x = \left(x_1, \ldots, x_k\right) \in \{0,1\}^k, a \in \{0,1\} \quad ,$$
$$W = \left(w_1, \ldots, w_k\right)^T, w_i, b \in \mathbb{R}, f : \mathbb{R} \to \{0,1\} \quad .$$

Нейроны в нейросети соединяются друг с другом так, что с единственного выхода нейрона (аксона) связь разветвляется на несколько входов других нейронов, в том числе, не исключен случай соединения выхода с входом одного и того же нейрона. Таким образом, нейрон $n$ представляется в виде функции многих переменных $n : \{0,1\}^k \to \{0,1\}$ . Для нейросети соединения нейронов можно моделировать свёрткой в ассоциативной композиционной свёрточной поликатегории согласно следующей ниже теореме, доказанной в [Толоконников, 2017]. Свёртка, разветвляющая один выход на несколько входов в полистрелки свёрточного полиграфа, называется ***свёрткой типа корона***.

*Теорема* (моделирования нейросети)

Пусть имеется искусственная нейронная сеть с нейронами $n:\{0,1\}^k \to \{0,1\}$, имеющими несколько входов ( $k \in \mathbb{N}$ ) и один выход, со своей функцией активации у каждого нейрона, с поступающими на вход синапсов нейрона сигналами из совокупности *b,* являющейся множеством. Соединения нейронов осуществляются имеющимся выходом, который ветвится на конечное число $m \in \mathbb{N}$ линий, соединяющихся с входами других нейронов. Тогда нейронные сети, построенные из указанных нейронов, образуют ассоциативную композиционную свёрточную поликатегорию с набором свёрток типа "корона".

Представление нейросети в виде поликатегории помогает устранить многие неточности в теории нейросетей. Так, опираясь на свойства и понятие дуальности поликатегорий, мы построили [Tolokonnikov, 2021(*a*)] [Толоконников, 2018(*a*)], корректные схемы популярного у нейросетевиков интуитивного метода С.Осовского [Осовский, 2017] для вычисления частных производных, используемых в методе обратного распространения ошибки.

### *5. Категорные системы, как категорные склейки*

Категорная теория систем возникла как вариант формализации теории функциональных систем П.К.Анохина. Рассмотрение самих постулатов теории функциональных систем с обсуждением категорной парадигмы, вопросов формализации интуитивных принципов изоморфизма и иерархии по П.К. Анохину имеется в [Толоконников, 2017, 2018(*a*), 2018(*b*)]. П.К. Анохин подверг исчерпывающей критике подходы М. Месаровича и их разновидности (что относится также к подходу к системам по С.Н. Васильеву [Матросов, 1980] обобщающему большинство определений системы в многочисленных работах по математической теории систем) за отсутствие системообразущего фактора в определении системы. Мы определим категорные системы, включающие формулировку системообразующего фактора. Обычную категорию можно переформулировать без объектов, только на языке стрелок, рассматривая вместо объектов единичные стрелки. Этот же подход можно использовать в теории поликатегорий и склеек. Для большей наглядности сейчас мы будем говорить о свёрточных поликатегориях. Если сразу иметь ввиду высшие поликатегории, то полистрелки переводят полистрелки более низкого ранга в другие полистрелки. Под системами мы понимаем в общем случае полистрелки и их совокупности.

Теперь мы можем пояснить категорный характер функциональных систем П.К. Анохина. В теоретико-множественной парадигме функция, как и всё остальное, сводится к понятию множества, например, к графику (множеству точек на плоскости) для вещественных функций вещественной переменной. Как детально обсуждается в [Голдблат, 1983], такая интерпретация интуитивного понятия функции отбрасывает аспекты вычисления, движения, времени,

характерные для функции, а категорное представление функции стрелками, по-видимому, частично сохраняет эту часть её интуитивного содержания. В любом случае, в понятие функции и далее полистрелки входит три составляющих, если говорить на языке систем, то это некоторая начальная система, конечная система и переработка начальной системы в конечную, аналогичная переработке слов в алфавитах алгорифмами и исчислениями. На обычном жаргоне часто функцией называют именно конечную составляющую функции. Функциональная система П.К. Анохина отвечает алгорифмической составляющей функции, что интуитивно им подмечено в названии словом "функциональная". Другими словами, изучая функциональные системы, П.К. Анохин, как бы, предвосхитил зарождение теории категорий в математике. Основное его открытие в терии систем, системообразущий фактор, в категорных системах интерпретируется следующим образом. Пусть для некоторой системы возникает "потребность". Афферентный синтез отвечает формированию "потребного результата", удовлетворяющего "потребность", в виде описания (параметры потребного результата в акцепторе результата действия) другой системы, а также в виде свёртки необходимых подсистем, из которых эта свёртка строит саму функциональную систему, в том числе, ее алгорифмическую составляющую. Сама свёртка фиксируется в программе действий. Итак, полистрелка, получаемая свёрткой подходящего набора подсистем, имеет своим началом систему с проблемами, а своим завершением потребный результат, также являющийся некоторой системой. Мы имеем, причём в бессознательном и в сознании животного, если говорить о высших млекопитающих, или человека моделируемую полистрелками и свёртками натуральную структуру, названную П.К. Анохиным функциональной системой. Далее эта идеальная структура, имеющая нейрокоррелят, очевидно, проверяется (интерпретируется, вычисляется) на реальных объектах. В случае адекватности функциональной системы потребности, она достигает своего назначения. В случае неудачи, то есть при несовпадении параметров полученного результата с параметрами потребного результата из акцептора результата действия, цикл зарождения и применения новой функциональной системы повторяется. Конечно, потребного результата, как правило, можно достичь несколькими способами, что соответствует получению значений функции разными способами (алгорифмами).

В традиционной (интуитивной) теории функциональных систем под системообразующим фактором понимают сам потребный результат, или его параметры, к которым нужно прийти для удовлетворения потребности, нередко фукциональную систему отождествляют с системообразующим фактором (подобно упомянутому жаргону называть функцией ее значения), цель для организма и так далее. В том числе, не делается отличия между системами с разными значениями определяющих их параметров (получается ли в результате

та же система, но с другими значениями параметров или уже другая система).

Резюмируем сказанное. Под простой системой мы понимаем полистрелку свёрточной поликатегории, являющуюся одной из её образующих. Составные системы строятся из образующих и других систем с помощью свёрток. ***Системообразующим фактором*** называется свёртка подсистем, из которых данная система состоит (напомним, что "история" при свёртывании подсистем сохраняется в системе), и конечная составляющая системы, как полистрелки. Сама конечная составляющая называется системообразующим фактором ***в узком смысле***. Перечисленное почти дословно переносится на случай систем, определяемых на основе категорных склеек.

Пусть заданы две модели категорных склеек. Как и в случае категорий [Mac Lane, 2013] можно подчеркнуть различие аксиоматического определения от модели приставкой «мета». Другими словами, удобно называть категорные склейки в их формальном определении метасклейками, а их модели категорными склейками. Отображение одной модели или, другими словами, категорной склейки в другую называется ***склеечным функтором***, если оно сохраняет склеечные структуры (свёртки, проекции и так далее). Здесь мы не будем изучать свойства функторов между категорными склейками, отметив только, что категорные склейки со склеечными функторами образуют обычную категорию, которую мы будем называть ***категорией склеек***.

*Определение*

Пусть задана категорная склейка, как модель формальной метасклейки. Тогда всякий набор конусов категорной склейки называется ***категорной системой*** или просто ***системой***. Система называется ***составной***, если она представлена в виде свёрток других систем, называемых ***подсистемами*** исходной системы. Если система не представлена в виде свёртки других систем, то она называется ***простой системой***. Системы, представляющие собой наборы элементарных конусов, назовём ***объектными системами***.

Системообразующий фактор по П.К.Анохину находит естественную модель в категорных системах, согласно приведённому выше описанию.

*Определение*

Пусть в категорной склейке заданы две объектные системы, первую назовём начальной объектной системой, вторую назовём ***результатом*** для начальной объектной системы, а также заданы совокупность категорных систем $\{S_\alpha, \alpha \in I\}$, $I$ – индексное множество, склеечный эндофунктор $F$ в категории систем и свёртка $\Delta$. Тогда, если свёртка применима к совокупности преобразованных систем $\{FS_\alpha, \alpha \in I\}$, то пара $(F, \Delta)$ называется ***системообразующим фактором*** составной системы $S = \Delta(\{FS_\alpha\})$, при условии, что операция стирания равенства для $S$ даёт совокупность исходных объектных систем.

### *6. Редукционизм и категорные системы*

Можно ли свести химию к физике, есть ли в физической теории объяснения физиологическим законам и нельзя ли их «вывести» из физики, такие и подобные вопросы относят к проблеме редукционизма, то есть проблеме сведения одной теории к другой. На наш взгляд, физическую (химическую, биологическую и так далее) теорию следует представлять как теорию физических (химических, биологических и так далее) систем. Это согласуется с принятым в настоящее время представлением о том, что теория систем - это наука наук (см., например, [Yi-Lin Forrest, 2018]). Таким образом, ответ на вопросы о сведении одной науки к другой не может быть решен на уровне отдельных наук, он есть вопрос теории систем. Именно, в теории систем мы должны определиться с тем, что такое физическая или химическая системы, заодно возникнет возможность построить морфизмы одной теории в другую и отвечать на их основе на вопросы о взаимоотношениях систем, в том числе, о включении одной системы в другую и несводимости одной теории к другой.

Этот вопрос находит решение в категорной теории систем.

Для определённости ограничимся сейчас языками первого порядка, ряд обобщений на основе других логик или исчислений помимо классической логики оказывается в принципе аналогичным.

Пусть задана формальная теория категорных склеек, простыми, элементарными (несоставными) системами мы называем склейки, опирающиеся непосредственно на функциональные и предикатные символы без использования свёрток (полная склейка простой системы имеет пустые внешние свертки и пустые внутренние склейки и свёртки). Например, для случая систем материальных точек в механике сами материальные точки отвечают простым системам в категорной системе. Здесь мы затрагиваем вопрос интерпретации формальной теории, сопоставления переменным теории некоторых объектов, в частности, систем в виде материальных точек. Отметим, что даже, если вопрос интерпретации переменных решен, сами простые системы интерпретации еще не определяют какая теория (система) на них далее строится (физическая, химическая и тому подобное). Простые системы по словам П.К.Анохина обладают многочисленными "степенями свободы", которые должны быть ограничены для составной системы с помощью ресурсов системообразующего фактора, определяемого как результат, которого составная система должна достигнуть. Таким образом, всевозможные варианты движения (изменений и тому подобное) простых систем образующие хаос возможных движений приводятся в порядок именно системообразующим фактором, заставляющим простые системы, оказавшиеся в составе составной системы, эволюционировать вполне упорядоченным, а не произвольным (хаотическим) способом. Системообразующим фактором для систем материальных точек в

механике (классической или квантовой, в квантовой теории поля или стандартной модели рассматриваются не частицы, а поля) является ***принцип наименьшего действия.*** Из него выводятся уравнения движения (Гамильтона, Шредингера), которым удовлетворяет эволюция каждой из частиц, как простых систем внутри составной системы *N* материальных точек.

Принцип наименьшего действия имеет различные выражения для классической и квантовой механик, то есть классической и квантовой систем материальных точек, поэтому эти системы различны, хотя и имеют одни и те же простые подсистемы. Окончательное решение вопросов соотношения классической и квантовой механик проводится в рамках системного рассмотрения этих двух различных категорных систем.

Поскольку в понятие системы входит системообразующий фактор, а в обоих упомянутых механиках для их построения достаточно принципа наименьшего действия, то физическую теорию (теорию физических систем) под названием ***квантовая механика*** или ***классическая механика N материальных точек*** в рамках теории категорных систем можно точно определить как категорную склейку с простыми системами в виде *N* материальных точек и системообразующим фактором в виде принципа наименьшего действия. Обобщая этот пример физических теорий, определяем физическую теорию как теорию физических систем.

*Определение*

***Физическая система*** является моделью, описывающей предметную область формальной категорной склейкой с системообразующим фактором в виде принципа наименьшего действия.

Для конкретизации физической теории необходимо уточнять набор функциональных и предикатных символов склейки и выбирать объект интерпретации переменных и стрелок формальной склейки.

Химические системы выделяются как системы с другим системообразующим фактором, однако с требованием, чтобы как в квантовой химии, не нарушался принцип наименьшего действия. В таком случае химическая теория (например, по Бейдеру [Бейдер, 2001] в его подходе «атомов в молекулах») отвечает системообразующему фактору для квантовой механики частиц и сводится к физике, что можно изложить более точно. Однако, в химии используются многочисленные приближения, например, системы углеводородов ограничиваются рассмотрением ковалентных связей изображаемых в химических формулах отрезками между именами атомов. В рамках категорной химии [Tolokonnikov, 2021(*a,b*)] мы можем ставить вопрос о том, какой системообразующий фактор соответствует таким системам углеводородов, поскольку уравнение Шредингера для этого приближения не выполняется и не действует системообразующий фактор в виде принципа наименьшего действия квантовой механики. Тем не менее, имеются теории

систем углеводородов и они не сводимы к квантовой механике, что можно доказывать как строго математический факт, а не вдаваться в общефилософские рассуждения редукционизма.

Подобно тому как строятся алгебраические теории в различных категориях, а не только в *Set*, можно говорить об универсуме физических теорий и уже в этом универсуме строить теорию функциональных систем, поскольку физические законы для организмов никто не берётся отменять, но системообразующие факторы функциональных систем несут свои законы физиологии, которые таким образом, вообще говоря, не сводятся к законам физическим.

Модель организма обычно представляет собой систему материальных точек (атомов, молекул, составленных из атомов, и так далее), подчиняющихся квантовой механике. Последнюю моделируем категорной склейкой с системообразующим фактором в виде принципа наименьшего действия. Рассматриваем универсум таких квантовомеханических систем. Аналогично тому, как алгебраическая теория интерпретируется в различных категориях, отличных от *Set*, интерпретируем категорную функциональную систему для организма со своими системообразующими факторами в динамике системоквантов по К.В. Судакову в универсуме физических систем. Подобная модель даёт инструментарий для описания свойств и взаимодействия функциональных и физических систем организма.

Более прямолинейным подходом является рассмотрение биомеханических систем с составным системообразующим фактором, биологическая составляющая которого включает принцип выживания. Высшие млекопитающие и человек представляют собой подобные биомеханические системы. Действительно, их очевидной механической частью является костный скелет, мышцы, жидкие среды организмов, подчиняющиеся законам, в первом приближении, теоретической механики и механики сплошных сред, основанных на принципе стационарного действия. Однако, целенаправленные движения живых организмов весьма далеки от возможности их моделирования непосредственно механическими системами, ключевая особенность здесь состоит в том, что внутренние процессы управляют механикой движений. Здесь мы сталкиваемся с механикой с сервосвязями, предложенной Бегеным [Беген, 1967] и развиваемой в нашей стране академиком В.В. Козловым и его коллегами [Козлов, 2015]. Однако, в указанных исследованиях управление механической системой происходит извне. Совершенно очевидно, что мы имеем в лице механики с сервосвязми значительный шаг к описанию движений биомеханических систем, для чего необходимы исследования систем с составными системообразующими факторами, включающими помимо принципа стационарного действия также принцип выживания и, возможно, другие биологические составляющие, позволяющие функционировать живым

организмам, в том числе, с помощью управления движением своих механических частей. Подобный подход представляет интерес также для искусственного интеллекта и сильного искусственного интеллекта, весьма детально обсуждаемых на Конгрессе.

### *7. Заключение*

В заключение подведём кратко итоги нашего рассмотрения. Работа посвящена подходу автора к не теряющей актуальности проблеме описания возможных физических теорий, разросшейся постепенно до проблемы классификации категорных систем, как математических объектов теории свёрточных поликатегорий и категорных склеек. Начатые работы по поиску возможных алгебр наблюдаемых гамильтоновых механик привели к методу функциональных уравнений в теории алгебр, с помощью которого помимо предложения новых алгебр наблюдаемых со всюду плотным множеством полиномиальных наблюдаемых, были решены близкие задачи суммирования рядов Бейкера-Кемпбелла-Хаусдорфа, найдены общие решения уравнения Янга-Бакстера для некоторых неполупростых алгебр Ли, вычисление интеграла Фейнмана сведено к решению функциональных уравнений, а также получена классификация трансляционно-инвариантных алгебр Йордана, бинарно-лиевых и других алгебр. Изучение взаимоотношений алгебр наблюдаемых различных физических теорий требует их рассмотрения в рамках теории систем, как теорий тех или иных физических систем. Системный подход естественынм образом проводится на основе теории категорий, к которой пришлось обратиться в связи с открытой А. Абрамским [Abramsky, 2009] категорной квантовой механикой. Однако, формализация наиболее продвинутой и результативной из теорий систем, именно, теории функциональных систем П.К. Анохина, потребовала разработки теории свёрточных поликатегорий и категорных склеек, начала которых рассмотрены в работе. Таким образом, мы приходим к задаче классификации категорных систем в рамках указанных категорных теорий. Довольно абстрактные математические объекты, с которыми приходится сталкиваться в развиваемом автором подходе, тем не менее, востребованы, например, в теории обычных искусственных нейронных сетей, а также в теории биомашсистем, имеющей непосредственные практические приложения.

### *1. Introduction*

The problem of constructing physical theories is the oldest and still relevant. The need for new physical theories arose to solve the problems of quantum field theory ([Shirokov, 1975]), to describe the phenomenon of consciousness ([Penrose, 2003]), to restore the Hamiltonian formalism for nonholonomic mechanics ([Kozlov, 1983]) and so on. In view of the expansion of the variety of physical theories and, most

importantly, the need to clarify the relationships between them, systems theory is in demand. Physical theories can be looked at as theories of physical systems, biological, chemical and social theories can be looked at as theories of biological, chemical and social systems. The subject of systems theory is the study of systems and the connections between them, including the study of various physical theories, such as quantum and classical mechanics, that is, the study of classical systems and quantum systems. Typically, a physical theory consists of observables and states. Observables can be multiplied, that is, they form various kinds of algebras, the states are functionals over these algebras. Thus, the search for new physical theories begins with algebras of observables. The author, together with his scientific advisor Yu.M. Shirokov began with the search for new algebras of Hamiltonian mechanics observable in the axiomatics [Shirokov, 1975], [Tolokonnikov, 1977]. The method of functional equations in the theory of algebras arose, with the help of which, in addition to the search for new algebras, the old problem of summing Baker-Campbell-Hausdorff series, the Yang-Baxter equation for some non-semisimple Lie algebras and other problems were solved [Tolokonnikov, 1986, 1987, 1988 ], which will be discussed in the work. The transition to the study of various systems, initiated by the task of searching for new physical theories, led to the construction of categorical systems for which new types of categorical objects were constructed that turned out to be necessary, namely, convolutional polycategories and categorical splice [Tolokonnikov, 2016(a,b), 2017, 2018( a,b,c), 2021], [Tolokonnikov, 2019, 2020(a,b)]. Based on the categorical language based on them, a formalization of the theory of functional systems by P.K. Anokhin, which is also discussed in the work.

### *2. The task of searching for formalisms of new physical theories*

The language of categorical splice uniformly describes basic algebraic structures from universal algebras to polycategories and higher categories and provides examples of new algebraic structures used, in particular, in general systems theory. Categorical splice is introduced as formal logical theories with models in various universes, including various categories, including those different from the category of sets. Szabo's polycategories [Szabo, 1975] and the convolutional polycategories introduced by the author earlier [Tolokonnikov, 2016] are particular models of categorical splices. In addition to new algebraic structures, the theory of categorical splices offers a description of known categorical dualities and examples of new types of dualities, including the dualities of the categorical splices themselves. Among the applications is the representation of traditional artificial neural networks of arbitrary topology by convolutional polycategories, the dualities in which are used, in particular, to clarify and justify the well-known Osovsky formulas for calculating gradients in the backpropagation method [Tolokonnikov, 2018(a)],[Tolokonnikov, 2020(b) )]. A categorical model of a neuron is proposed, taking into account not only its spike activity, but also other types of intercellular communication and neural

networks with a topology of higher categorical splice, which far generalizes the types of neuron connections in traditional artificial neural networks. The formalization of the theory of functional systems previously proposed by the author by P.K. Anokhin is axiomatized using categorical splice and is proposed in the form of a categorical theory of systems as a general theory of systems. The categorical theory of systems includes formalized system-forming factors, principles of isomorphism and hierarchy, postulated on an intuitive level for general systems by P.K. Anokhin. Numerous diagrams of functional systems, proposed in the works of physiologists of the school of P.K. Anokhin-K.V. Sudakov, have been modified to categorical diagrams. Similar work was done for chemical formulas and the “atoms in molecules” model according to Bader [Tolokonnikov, 2021(a,b)]; the emerging direction of categorical chemistry is used for categorical modeling of DNA and RNA molecules. Rigorous algebraic models of biomolecules are proposed as new methods for algebraic biology, which thus makes it possible to take into account the algebraic properties of biomolecules to work with the genome. The content of the work, including system studies, is a continuation of work in the direction of the problem of searching for formalisms for the algebras of observable new physical theories. Initially, this problem, initiated by a number of questions in quantum field theory, was posed for Hamiltonian mechanics by Yu.M. Shirokov, who gave the axiomatics of such mechanics [Shirokov, 1975]. Subsequently, the same problem was posed by R. Penrose in the context of the search for formalisms of new physical theories that are more suitable than the known formalisms for describing the phenomenon of consciousness [Penrose, 2003]. The problem of restoring the Hamiltonian formalism for nonholonomic mechanical systems, successfully solved by V.V. Kozlov [Kozlov, 1982-1988], also led to a new mechanics called vakonomic mechanics. There are other directions in the search for formalisms of physical theories, for example, Nambu mechanics [Nambu, 1973] and others.

The algebra of observable Hamiltonian theories according to the indicated axiomatics has two binary operations π, σ (analogues of associative multiplication of operators and commutator), satisfying the following identities (A, B, C are observable)

$$\sigma A \pi B C = \pi \sigma A B C + \pi B \sigma A C$$
$$\sigma A \sigma B C = \sigma \sigma A B C + \sigma B \sigma A C$$
$$\sigma A B + \sigma B A = 0$$

If the operation π is associative, then in addition the identity

$$\pi A \pi B C = \pi \pi A B C \quad .$$

Obviously, in the algebra of observables there must first of all be coordinates, impulses, angular momentum and other observables, which are polynomials of impulses and coordinates.

Bilinear binary operations of multiplication on polynomials for quantum mechanics can be expressed in the form of pseudodifferential operators as series of

differentiation operations, so with standard quantization (in units with Planck's constant equal to 1, $i^2=-1$) we have

$$\pi A\,B=\pi A(x_1,\,p_1)B(x_2\,p_2)=\omega\exp(i\,\partial_{x_2}\partial_{p_1})A(x_1,\,p_1)B(x_2\,p_2)=$$
$$=(1+i\,\partial_{x_2}\partial_{p_1}+\ldots)\,A(x_1,\,p_1)B(x_2\,p_2)|_{1=2},$$

If we assume that the multiplication operation does not depend on a point in the phase space, then it is a series of differentiations, that is, the operations $\pi=\omega\,\pi(\partial_1,\partial_2),\,\sigma=\omega\,\sigma(\partial_1,\partial_2)$ ( $\partial_1,\partial_2,\partial_3$ replaced with formal variables *x, y, z*) satisfy the functional equations:

$$\sigma(x,\,y)\sigma(x+y,\,z)+\sigma(y,\,z)\sigma(y+z,\,x)+\sigma(z,\,x)\sigma(y+z,\,x)=0,$$
$$\sigma(x,\,y)+\sigma(y,\,x)=0,$$
$$\sigma(x,\,y+z)\pi(y,\,z)=\pi(x+y,\,z)\sigma(x,\,y)+\pi(y,\,x+z)\sigma(x,\,z)\ .$$

The associativity identity leads to the equation

$$\pi(x,\,y)\pi(x+y,\,z)=\pi(y,\,z)\pi(x,\,y+z)$$

The general solution of the system of the above four functional equations gives a classification of Hamiltonian associative mechanics, among which there are certainly classical and quantum mechanics. At the same time, such a classification answers the question, which is very interesting for physicists, about what kind of quantizations there are in general, whether there are Weyl, Wick, the aforementioned standard $\pi=\omega\exp(i\,\partial_{x_2}\partial_{p_1})$ and other quantizations, whether there are more quantizations besides the known ones and whether it is possible to list them all. Indeed, any quantization defines a multiplication operation that satisfies associativity and the specified functional equation.

Already in solving this equation, techniques appeared that were included in the method of functional equations in the theory of algebras, developed by the author [Tolokonnikov, 1986, 1988]. The general task, which includes the search for algebras of observable new physical theories, is as follows.

Let $K[x],\,x=(x_1,\ldots,x_n)$ be a ring of polynomials over a field K of characteristic zero, $\partial_i=\partial/\partial x_i$ - differentiations of the ring $K[x]$ . Element $\Omega(x,\partial^1,\ldots,\partial^m)$ of the left $K[x]$ -module $K[x][[\partial^1,\ldots,\partial^m]]$ of formal power series in variables $\partial^i=(\partial^i_1,\ldots,\partial^i_n),\,i=1,\ldots,m$ with coefficients from $K[x]$ defines on $K[x]$ an m-ary K-linear operation $\Omega$ , an ω-diagonal projection $\omega:K[x^1,\ldots,x^m]\to K[x]$ , determined on a basis of $K[x^1,\ldots,x^m]$ by the formula

$$\omega(x^1)^{\alpha_1}\ldots(x^m)^{\alpha_m}=x^{\alpha_1+\ldots+\alpha_m}$$

and extended to other elements by linearity.

Here and below, standard multi-index notation is used: $\alpha_i$ - a set of n non-negative integers.

The indicated operation Ω in these notations is given by the formula

$$\Omega\,A_1\ldots A_m=\omega\,\Omega(x^1,\partial^1,\ldots,\partial^m)A_1(x^1)\ldots A_m(x^m)=$$
$$=\sum_{\alpha}\Omega_{\alpha_1\ldots\alpha_m}(x)\partial^{\alpha_1}A_1(x)\ldots\partial^{\alpha_m}A_m(x),\,\Omega(x^1,\partial^1,\ldots,\partial^m)\in K[x][[\partial^1,\ldots,\partial^m]].$$

The formal series $\Omega(x^1, \partial^1, \ldots, \partial^m)$ is called the kernel of the operation Ω. It is convenient to represent the diagonal projection as a composition of K-linear mappings

$$\omega A(x^1, \ldots, x^m) = \omega_0(\omega_{12}(\ldots \omega_{m-1\,m} A(x^1, \ldots, x^m)\ldots)),\ A \in K[x^1, \ldots, x^m],$$

specified on the basis of $K[x]$ and $K[x^1, \ldots, x^m]$ using formulas

$$\omega_0(x^j)^\alpha = x^\alpha,\ \omega_{ij} f = f|_{x^j = x^j},\ f \in K[x^1, \ldots, x^m]\ .$$

If we introduce the notation $\omega_{i_1 \ldots i_g} = \omega_{i_1 i_2} * \omega_{i_2 i_3} * \ldots * \omega_{i_{g-1} i_g}$, where $*$ is the composition of K-vector endomorphisms $End_K K[x^1, \ldots, x^m]$ of the ring $K[x^1, \ldots, x^m]$, then the previous one will be written in the form $\omega A = \omega_0(\omega_{12\ldots n} A)$.

When using $\omega_{ij}$ operations, Leibniz's rule for differentiations $\partial_\mu = \partial / \partial x_\mu,\ \partial^i_\mu = \partial / \partial x^i_\mu$ will be written as follows

$$\partial^i_\mu * \omega_{ij} = \omega_{ij} * (\partial^i_\mu + \partial^j_\mu),\ \partial_\mu \omega_0 A(x^1) = \omega_0 \partial^1_\mu A(x^1),\ A \in K[x].$$

There are m natural embeddings, $id_j,\ j = 1,2, \ldots, m$, such that

$$id_j : K[x][[\partial^1, \ldots, \partial^m]] \to End_K K[x^1, \ldots, x^m],$$

$$id_j \Omega(x, \partial^1, \ldots, \partial^m) = \Omega(x^j, \partial^1, \ldots, \partial^m),$$

where $\Omega(x^j, \partial^1, \ldots, \partial^m)$ defines a K-vector endomorphism of the ring $K[x^1, \ldots, x^m]$ by the formula

$$\Omega(x^j, \partial^1, \ldots, \partial^m) A(x^1, \ldots, x^m) = \sum_{\alpha_1, \ldots, \alpha_m} \Omega_{\alpha_1 \ldots \alpha_m}(x^j) \partial^\alpha_1 \ldots \partial^\alpha_m A(x^1, \ldots, x^m).$$

It is convenient to consider the rings of polynomials $K[x^1, \ldots, x^m]$ as subrings of the ring $K[x^1, \ldots, x^m, \ldots]$ of polynomials of a countable number of variables $x^1, \ldots, x^m, \ldots$, and $End_K K[x^1, \ldots, x^m]$ as subrings of the ring $End_K K[x^1, \ldots, x^m, \ldots]$, namely, each endomorphism $\alpha \in End_K K[x^1, \ldots, x^m]$ induces an endomorphism $\tilde{\alpha} \in End_K K[x^1, \ldots, x^m, \ldots]$ defined by the relation $\tilde{\alpha} f = \alpha f_m$, where $f_m \in K[x^1, \ldots, x^m] \subset K[x^1, \ldots, x^m, \ldots]$ and $f - f_m$ are an element of the ideal in $End_K K[x^1, \ldots, x^m, \ldots]$ generated by the set $\{x^j \mid j > m\}$.

We will also denote the composition of K-vector endomorphisms of the ring $End_K K[x^1, \ldots, x^m]$ with an asterisk $*$:

$$(\Omega_1 * \Omega_2) A = \Omega_1(\Omega_2 A),\ \Omega_1, \Omega_2 \in End_K K[x^1, x^2, \ldots],\ A \in K[x^1, x^2, \ldots].$$

Let us denote the set of finite local K-multilinear operations on $K[x]$ by $\Omega^{(\infty)} = \cup_{i=1}^\infty \Omega^{(i)}$, $\Omega^{(i)}$ - the set of K-multilinear operations on $K[x]$ of arity i.

The set of $\Omega^{(m)}$ by $K[x]$ operations of fixed arity is a K-vector space

$$(\sum_i a_i \Omega_i) A_1 \ldots A_m = \sum_i a_i \Omega_i A_1 \ldots A_m,\ a_i \in K,\ i = 1,2, \ldots, \Omega_i \in \Omega^{(m)}.$$

We note an important subring of the ring $End_K \Omega^{(m)}$ induced by endomorphisms $End_K K[x]$, namely, each element $U \in End_K K[x]$ extends to

endomorphism $\hat{U} \in End_K \Omega^{(m)}$ by the formula

$$(\hat{U}\Omega)(x, \partial^1, \ldots, \partial^m) = \sum_{\alpha_1 \ldots \alpha_m} U\, \Omega_{\alpha_1 \ldots \alpha_m}(x)(\partial^1)_1^{\alpha} \ldots (\partial^m)^{\alpha_m} ,$$

where $\Omega(x, \partial^1, \ldots, \partial^m) = \sum_{\alpha_1 \ldots \alpha_m} \Omega_{\alpha_1 \ldots \alpha_m}(x)(\partial^1)_1^{\alpha} \ldots (\partial^m)^{\alpha_m}$ is the kernel of the operation Ω. Endomorphism $\hat{U}$ has the form

$$(\hat{U}\Omega)(x, \partial^1, \ldots, \partial^m) = U(x, \hat{\partial})\Omega(x, \partial^{1,}, \ldots, \partial^m) ,$$

where $\hat{\partial} = (\hat{\partial}/\partial x_1, \ldots, \hat{\partial}/\partial x_n)$ is a set of operators for differentiating series $\Omega(x, \partial^1, \ldots, \partial^m)$ with respect to variables $x_1, \ldots x_n$, operator $\hat{\partial}$ is provided with a cap to distinguish it from $\partial^1, \ldots, \partial^m$, which are formal variables in $K[x][[\partial^1, \ldots, \partial^m]]$.

We also denote the operation of composition of endomorphisms from $End_K \Omega^{(m)}$ by $*$ Mappings $\omega_0, \omega_{ij}$ continue similarly:

$$\hat{\omega}_0 \Omega(x^{1,} \partial^1, \ldots, \partial^m) = \Omega(x, \partial^1, \ldots, \partial^m), \hat{\omega}_{ij} \Omega(\ldots, x^i, \ldots, x^j, \ldots \partial^1, \ldots, \partial^m) =$$
$$= \Omega(\ldots, x^i, \ldots, x^i, \ldots \partial^1, \ldots, \partial^m), \hat{\omega}_{i_1 \ldots i_g} = \hat{\omega}_{i_1 i_2} * \hat{\omega}_{i_2 i_3} * \ldots * \hat{\omega}_{i_{g-1} i_g}$$
$$\hat{\omega}\Omega = \hat{\omega}_0(\hat{\omega}_{1 \ldots \mathrm{m}}\Omega), \Omega \in K[x^1, \ldots, x^m][[\partial^1, \ldots, \partial^m]].$$

It can be shown [Tolokonnikov, 1988] that the operation of differentiation $D_j = \partial/\partial(\partial_j)$ with respect to variables $\partial_j$ of the ring of formal series $K[x][[\partial]], x = (x_1, \ldots, x_n)$ satisfies the relation

$$D_j(U * V) = (D_j U) * V + U * D_j V, U, V \in K[x][[\partial]] .$$

Operations $\hat{\omega}, \hat{\omega}_0, \hat{\omega}_{\alpha\beta}$ commute with $D_j(\alpha, \beta = 1, \ldots, n)$ :

$$D_j \hat{\omega} U = \hat{\omega}\, D_j U, D_j \hat{\omega}_0 U = \hat{\omega}_0 D_j U, D_j \hat{\omega}_{ij} U = \hat{\omega}_{ij} D_j U .$$

Finite operations form a partial algebra $\{\Omega, *\}$ with respect to their composition, also indicated by an asterisk, which does not lead to confusion when the context is taken into account. For a composition of $U * V$ endomorphisms out of $End_K K[x]$, as can be shown, there is an explicit formula

$$(U * V)(x, \partial) = \breve{\omega} \exp\{\sum_{j=1}^{n} \hat{\partial}_{x_j^2} D_j^1\} U(x^1, \partial^1) V(x^2, \partial^2) ,$$

where $U(x^1, \partial^1), V(x^2, \partial^2)$ is the kernel of operators, $D_j^1$ is the differentiation of the formal series $U(x^1, \partial^1)$ with respect to the formal variable $\partial_j^1$, $\hat{\partial}_{x_j^2}$ is the differentiation of the formal series $V(x^2, \partial^2)$ with respect to the formal variable $x_j^2$, $\breve{\omega}$ is the diagonal projection with respect to both variables $x_j$ and $\partial_j$, that is, $\breve{\omega} A(x^1, x^2, \partial^1, \partial^2) = A(x, x, \partial, \partial) \in K[x][[\partial]]$.

Operator $U = End_K K[x]$ is defined for any operation from $\{\Omega, *\}$. From partial algebra $\{\Omega, *\}$, using the invertible operator $U = Aut_K \Omega^{(m)}$, which is a continuation of $U = Aut_K k[x]$, one can go to the equivalent partial algebra $\{\Omega, \circ\}$ with partial operation

$$\hat{U}(\Omega_1 * \Omega_2) = \hat{U}\,\Omega_1 \circ \hat{U}\,\Omega_2 \ ,$$

for which operator $D_j$ is a differentiation.

Finally, we can formulate the promised key problem of the method of functional equations in the theory of algebras.

Let $K[x]$ be given an m-ary K-linear operation Ω that satisfies the identity representable as

$$\xi = 0 \ ,$$

where ξ is a linear combination with coefficients from K derivatives for the operation Ω of operations of the same arity a.

For example, for operations in algebras over a field of characteristic zero, without loss of generality we can limit ourselves to considering multilinear ones, since in this case any identity is equivalent to a system of multilinear ξ [Zhevlakov, 1978]. Moreover, for this case, A.I. Maltsev [Maltsev, 1950] reduced the task of describing possible identities to listing nonequivalent irreducible representations of symmetric groups. The kernel 001 $\xi(x, \partial^1, \ldots, \partial^m), a \geq m$ of operation ξ can be calculated from the kernel of operation 002 Ω , if we use the concepts and definitions introduced above. Thus, each identity generates a *-operator functional equation for the kernel of operation 003 Ω

$$\xi(x, \partial^1, \ldots, \partial^m) = 0 \ . \qquad (*)$$

For example, if π is an associative binary operation, then the equality of the associator to zero leads for the kernel 004 $\pi(x, \partial^1, \partial^2)$ to the *-operator functional equation of associativity

$$\omega\{\pi(x^1, \partial^1 + \partial^2, \partial^3) * \pi(x^1, \partial^1, \partial^2) - \pi(x^1, \partial^{1,} \partial^2 + \partial^3) * \pi(x^2, \partial^2, \partial^3)\} = 0 \ .$$

If there are several operations of different arity in a universal algebra, the identities existing in the algebra lead to a system of *-operator equations (*).

Thus, the axioms for the algebras of observable Hamiltonian mechanics lead to a system of *-operator equations

$$\begin{gathered}
\omega\{\sigma(x^1, \partial^1, \partial^2 + \partial^3) * \sigma(x^2, \partial^2, \partial^3) - \sigma(x^1, \partial^1 + \partial^2, \partial^3) * \sigma(x^1, \partial^1, \partial^2) - \\
- \sigma(x^1, \partial^{2,} \partial^1 + \partial^3) * \sigma(x^1, \partial^1, \partial^3)\} = 0, \\
\omega\{\sigma(x^1, \partial^1, \partial^2 + \partial^3) * \pi(x^2, \partial^2, \partial^3) - \pi(x^1, \partial^1 + \partial^2, \partial^3) * \sigma(x^1, \partial^1, \partial^2) - \\
- \pi(x^1, \partial^{2,} \partial^1 + \partial^3) * \sigma(x^1, \partial^1, \partial^3)\} = 0, \\
\sigma(x^1, \partial^1, \partial^2) + \sigma(x^1, \partial^2, \partial^1) = 0.
\end{gathered}$$

Systems of *-operator functional equations were first introduced by the author, and he also found general solutions to a number of such systems that are invariant under certain Lie groups. In particular, the discussed equations with kernels of operations that do not depend on the 005 $x = (x_1, \ldots, x_m)$ variables themselves belong to algebras that are invariant under the group of shifts.

So, if we impose on the algebra of observables of Hamiltonian theory the natural condition that holds in quantum and classical mechanics that it contains polynomials

and that the operations are linear in each of the factors, then the algebras of observables of all possible physical theories lie among the solutions of the indicated system of *-operator functional equations.

The general solution of these equations gives a complete classification of Hamiltonian algebras and, thereby, all possible Hamiltonian mechanics.

Gradually, functional equations for identities at least somehow related to physics were solved, translationally invariant alternative, Jordan, binary-Lie algebras, algebras close to associative were classified, and finally, classes of new algebras appeared as a result of solving *-operator functional equations. A certain toolkit of techniques was formed, which constituted the method of functional equations in the theory of algebras.

The level of difficulty in solving *-operator equations can be assessed by several "side" problems that were solved in the process of searching for new observable algebras. One of these problems is the well-known unsolved problem of summing Baker-Campbell-Hausdorff series in formal group theory (it is not clear how to bring similar terms from the growing number of commutators when summing series); versions of calculating the Feynman path integral are associated with these series. An important example is the associativity equation associated with the quantum Yang-Baxter equation, for which the method of functional equations was used to find the first general solution for the simplest of non-semisimple Lie algebras. Let us give as an example the multiplication operation calculated [Tolokonnikov, 1987] by the method of functional equations (where the Baker-Campbell-Hausdorff series for the Lorentz group is summed up) (analogue of the above standard multiplication 006 $\pi A B=\omega \exp\left(i \partial_{x_2} \partial_{p_1}\right) A\left(x_1, p_1\right) B\left(x_2 p_2\right)$ )

$$(\pi AB)\ (\alpha, \ldots, \mu) = \omega\pi\ (\alpha, \ldots, \partial^2)\ A\ (\alpha_1, \ldots, \mu_1)\ B\ (\alpha_2, \ldots, \mu_2);$$

$$\ln \pi\ (\alpha, \ldots, \partial^2) = -\alpha\partial_{\alpha_2} - \nu\partial_{\nu_2} - \mu\partial_{\mu_1} - \beta\partial_{\beta_1} - \gamma \ln R + 2w\Delta + R \exp(-\partial_{\gamma_1}) \{[\nu\partial_{\nu_2} + \alpha\partial_{\alpha_2} +$$

$$+ (\nu\partial_{\mu_1} - \alpha\partial_{\beta_1})(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})/2] \cos \partial_{w_1} + [\alpha\partial_{\nu_2} - \nu\partial_{\alpha_2} + (\alpha\partial_{\mu_1} + \nu\partial_{\beta_1})(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})/2] \sin \partial_{w_1}\} +$$

$$+ 2 \exp(-\partial_{\gamma_2})(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})^{-1} \{(\beta\partial_{\nu_2} + \mu\partial_{\alpha_2}) \sin \partial_{w_2} + (\mu\partial_{\nu_2} - \beta\partial_{\alpha_2}) \cos \partial_{w_2} - R[\mu\partial_{\nu_2} - \beta\partial_{\alpha_2} +$$

$$+ (\beta\partial_{\beta_1} + \mu\partial_{\mu_1})(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})/2] \cos(\partial_{w_2} + 2\Delta) -$$

$$- R[\beta\partial_{\nu_2} + \mu\partial_{\alpha_2} + (\beta\partial_{\mu_1} - \mu\partial_{\beta_1})(\partial^2_{\alpha_2} + \partial^2_{\nu_2})/2] \sin(\partial_{w_2} + 2\Delta)\},$$

где

$$\Delta = \arcsin\left(\partial_{\nu_2} \Big/ \sqrt{\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\nu_2}}\right) - \arcsin\left([2\partial_{\nu_2} + \partial_{\mu_1}(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})] \Big/ 2\sqrt{R(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})}\right),$$

$$R = [1 + \partial_{\mu_1}\partial_{\nu_2} - \partial_{\beta_1}\partial_{\alpha_2} + (\partial^2_{\mu_1} + \partial^2_{\beta_1})(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})/4]^{-1},\ A,\ B \in \mathfrak{A}.$$

In the last decades of the 20th century, two directions, most important for the problem of searching for new formalisms for observable algebras, developed. The first thing that is meant is the publication of books by R. Penrose [Penrose, 2003], in which he demonstrates the insufficiency of existing physical theories to describe the phenomenon of consciousness and poses the task of searching for new physical

theories for such a fundamental problem of humanity. Here we have strong artificial intelligence and “can a machine think?”... But we won’t dwell on that here.

Secondly, this is the awareness and deployment of the fact that Vasyukov V.L. calls “pluralism” [Vasyukov, 2012], meaning the existence of numerous logicians, mathematicians and, we add, physicists... The pioneers here are, of course, the scientists of the Kazan mathematical school N.I. Lobachevsky, who discovered non-Euclidean geometry, and P.S. Poretsky , who proposed and studied the first three-valued logic [Poretsky, 1884].

An inevitable stage in the development of the area under discussion consists of turning to systems theory. It is obvious, and no one will argue, that there are several types of theories, physical, chemical, biological and the like. Therefore, it is natural to move from the term “physical theory” to “theory of physical systems”, respectively, to theories of chemical, biological and other systems. And systems theory itself is a science of sciences, as is now generally accepted (see, for example, [Yi-Lin Forrest, 2018]). Here, however, reductionism emerges, which is often found among physicists, such as the reduction of chemistry to physics, biology to physics and... recognition of the phenomenon of consciousness as a physical phenomenon, for which R. Penrose set the task of finding a suitable physical theory. But consciousness manifests itself, for example, in functional systems in the acceptor of the result of an action... R. Penrose says nothing about reducing functional systems to physical ones. Perhaps the convergence will not occur in the literal sense, but in the immersion of the universe of functional systems into the universe of physical systems, or even vice versa. As an option, we further discuss systems with a composite system-forming factor. Apparently, the approach here should be based on a certain functional-physical system, and there should be a mathematical apparatus that accurately describes this type of system. And this apparatus is a new physical and at the same time physiological theory. Reductionism also exists in physics itself, for example, in the form of reducing classical mechanics to quantum mechanics. Systems theory proposes to consider the relationships between theories at their system level and language. The simplest version of reductionism consists in constructing some morphism (transition to the limit, consideration as a subtheory, etc.) from one theory to another theory. In the fundamental work of Yu.M. Shirokov on the axiomatics of Hamiltonian mechanics [Shirokov, 1975] it is shown that there is no such morphism from quantum mechanics to classical mechanics, and the relationship between theories is described at a different level and language.

An excursion into the systems approach stuns with several dozen definitions of the concept of a system. However, all approaches (including rigorous approaches of mathematical systems theories) except the theory of functional systems, as demonstrated by P.K. Anokhin [Anokhin, 1973] sin by the complete absence of references to the mechanism, which, in fact, assembles the system from disparate parts. It was this mechanism that P.K. Anokhin called a system-forming factor and

put it at the forefront of the very concept of a system. The intuitive constructions of P.K. Anokhin, K.V. Sudakov and their school, in particular, in the form of numerous diagrams of functional systems, the author formalized in the category theory of systems, using the language of category splice and convolutional polycategories. Remarkably, with a certain modernization, diagrams of functional systems received the status of categorical diagrams, to which these diagrams are very similar. One can even talk about a certain initial formalization of the theory of functional systems with the help of these schemes. Note that the postulates for systems formalized in the categorical theory of systems, given by P.K. Anokhin, immediately translate into categorical language a wide class of universes that are different from the traditional universe of set theory [Tolokonnikov, 2018].

***3. Categorical splices***

3.1. Polycategories were introduced in 1985 by Szabo [Szabo, 1975] as a set of polyarrows, the composition of which is defined similarly to the composition of arrows and multiarrows in categories and multicategories. Polyarrows have inputs and outputs; it is natural to model neurons with them. However, the connections of neurons observed in the brain (see [Sidorov, 2012], [Anastassiou, 2011]) are significantly richer than the possibilities that the composition of Szabo's polycategories can provide. Szabo's theory of polycategories has applications (see [Shulman, 2020]), but is very complex; working with them "manually," as Szabo does according to R. Garner, encounters problems [Garner, 2008]. For the case of symmetric polycategories, R. Garner constructed their representation in the form of monads in a suitable two-sided Kleisli bicategory. The representation constructed by G. Garner generalizes a similar well-known representation of multicategories in the form of monoids in the categories of struts [Burroni, 1971], [Hermida, 2000], [Leinster, 2004]. An attempt at a similar generalization for arbitrary polycategories in [Koslowski, 2005] did not lead to the final construction of a representation of polycategories. Szabo introduced polycategories for logic problems, where the rules of inference are polyarrows in Gentzen's approach (conjunctions of premises are translated into disjunctions of formulas) and they are connected to each other using one output of the first and one input of the other polyarrow. This limitation in the methods of connecting polyarrows is removed to some extent in PROPs introduced by MacLane [MacLane, 1965] (and in their varieties, dioperads, etc., see [Graves, 2020], as well as a review by Markl M. Operads and PROPs, 2006, arXiv:math/0601129v3).

In our approach, we proceed from the needs of modeling the connections of neurons in the brain, for which there are not enough connections in the form of the studied compositions of polyarrows in the Szabo and PROP polycategories, and systems theory, when it is necessary not only to assemble a system from future subsystems, but also to decompose it into subsystems. To do this, we replace compositions of polyarrows with a new, more general type of connections called

convolutions, introduce and use categorical splice, from which polycategories are built with an explicit assignment of the history of obtaining polyarrows (an analogue of a nerve in categories) [Tolokonnikov, 2016, 2017, 2018, 2021].

3.2. Let us consider a countable number of varieties with variables and functional symbols of projections $x_k^{(i)}, C^{(j)}, i, j, k \in \mathbb{N}$ .

Enter functional symbols $\xi_{ij}$ of the form 001 $(i \to j)$ with properties

$$\xi_{ij}\xi_{ji}x_k^{(i)} = x_k^{(i)}, i \neq j \ .$$

For each i we denote $\check{C}_i^{(j)} = \xi_{ij}C^{(j)}\xi_{ji}$ and introduce the axioms

$$\check{C}_i^{(k)}\check{C}_i^{(j)} = \check{C}_i^{(l)} \quad (\ \check{C}_i^{(i)}\check{C}_i^{(i)} = \check{C}_i^{(i)}, i, j, k \in \mathbb{N}\ ).$$

Thus, the function symbols form a (meta)algebra, with a multiplication table corresponding to the last axioms.

We introduce notations for formulas $Ob^{(i)}(x^{(i)}) \stackrel{\text{def}}{=} (x^{(i)} =_i C^{(i)}(x))$ , as well as variables $a_k^{(i)}, k = 1,2,3...$ (objects, areas) of type i, limited to the set consisting of $Ob^{(i)}(x^{(i)})$ , and limited quantifiers

$$\forall^{Ob} a_k^{(i)} W(a_k^{(i)}) \stackrel{\text{def}}{=} \forall\, x^{(i)}(Ob(x^{(i)}) \supset W(x^{(i)})),$$
$$\exists^{Ob} a_k^{(i)} W(a_k^{(i)}) \stackrel{\text{def}}{=} \exists x^{(i)}(Ob(x^{(i)}) \wedge W(x^{(i)})).$$

We introduce equality predicates of the form $(i \to j)$ $x^{(i)} =_{ij} x^{(j)} \stackrel{\text{def}}{=} (x^{(i)} =_i \xi_{ij}x^{(j)})$ .

For each sort we introduce a set of basic functional symbols $\mu_l^{(i)}, \nu_l^{(i)}, ..., l = 1,2,...$ , called n-ary operations, *n*=0,1,2,3,... and a set of identities, as equalities of terms of one sort $t_m^{(i)} = t_k^{(i)}$ .

We introduce the countable number $\alpha = 1,2,3,... \in \mathbb{N}$ of the indicated sets of varieties, to denote which we will add an additional index, in other words, we are already considering variables, symbols, equalities, identities and isomorphisms, respectively, $x_k^{(i,\alpha)}, C^{(i,\alpha)}, \mu_l^{(i,\alpha)}, ..., =_{i,\alpha,i',\alpha'}, \xi_{ij}^{(\alpha)}$ , note that isomorphisms, unlike equalities, do not operate between varieties for different α.

*Definition*

Signature - a set of function letters of projections and operations $C^{(i)}, \mu_l^{(i)}$ .

We enter three copies of varieties $x_k^{(i,\alpha)}, C^{(i,\alpha)}, \mu_l^{(i,\alpha)}, ..., =_{i,\alpha,i',\alpha'}, \xi_{ij}^{(\alpha)}$ , the first of which is used for external convolutions, in which all letters are endowed with the stroke $x'^{(i,\alpha)}_k, C'^{(i,\alpha)}, \mu'^{(i,\alpha)}_l, ..., ='_{i,\alpha,i',\alpha'}, \xi'^{(\alpha)}_{ij}$ to distinguish them from the main letters of the external splice, the second is used for internal convolutions and is endowed, in addition to the stroke, with an overscore $\bar{x}'^{(i,\alpha)}_k, \bar{C}'^{(i,\alpha)}, \bar{\mu}'^{(i,\alpha)}_l, ..., {}^{-}='_{i,\alpha,i',\alpha'}, \bar{\xi}'^{(\alpha)}_{ij}$ , the third is used for internal splice and is endowed only with the overscore $\bar{x}_k^{(i,\alpha)}, \bar{C}^{(i,\alpha)}, \bar{\mu}_l^{(i,\alpha)}, ..., {}^{-}=_{i,\alpha,i',\alpha'}, \bar{\xi}_{ij}^{(\alpha)}$ .

*Definition*

A complete basic splice is a formula composed of conjunctions of formulas

$$a_k^{(i,\alpha)} =_{i,\alpha} C^{(i,\alpha)}\left(x_k^{(i,\alpha)}\right), a'^{(i,\alpha)}_k ='_{i,\alpha} C'^{(i,\alpha)}\left(x'^{(i,\alpha)}_k\right),$$
$$\bar{a}'^{(i,\alpha)}_k ='_{-i,\alpha} \bar{C}'^{(i,\alpha)}\left(\bar{x}'^{(i,\alpha)}_k\right), \bar{a}_k^{(i,\alpha)} =_{-i,\alpha} \bar{C}^{(i,\alpha)}\left(\bar{x}_k^{(i,\alpha)}\right)$$

and equalities $\eta_k^{(i,\alpha)} = \theta_m^{(j,\beta)}$, $\eta_k^{(i,\alpha)}, \theta_m^{(j,\beta)}$ are any of the symbols of the $a_n^{()}, x_m^{()}, n, m \in \mathbb{N}$ indicated varieties, the equal sign has the corresponding indices omitted here.

*Definition*

Let's spread the conjunctions for each formula of complete splice into four cells of a 2x2 table. In cell (1,1) we place the subformulas of external splices, unhatched and without overlining the letters. In cell (1,2) we place letters containing the strokes of the subformula of external convolutions. In cell (2,1) we place the letters containing the subformulas of internal convolutions with an overline and in cell (2,2) we place the letters containing the subformulas of internal convolutions with an overline and strokes:

| | |
|---|---|
| $u$ | $v'$ |
| $\overline{w}$ | $\overline{r'}$ |

According to the construction of the formulas of complete splice, the equality subformulas contain only those letters of the variables that are found in the subformulas of the form $a = C(x)$. This allows equal signs to be excluded from the table, replacing the equality formulas with dotted lines connecting the variable letters included in the equalities.

Let us define derivation rules $M_t, M_r, M_l, M_b$ specific for categorical splices, which transform some formulas of complete splices into others.

$M_b$ moves to the lower cells from the upper those conjunctions from formulas that have connections (one of which is on the left, the other on the right),

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $ab$ | $cd$ | $M_b$ | $a$ | $d$ |
| $ef$ | $gh$ | $\rightarrow$ | $efb$ | $cgh$ |

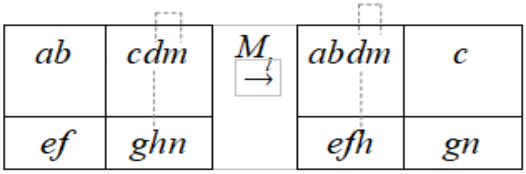
when moving, a change in varieties is specified that meets definition $M_b$.

$M_t$ moves formulas that have connections to the upper cells from the lower ones

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| $ab$ | $cd$ | $M_t$ | $abf$ | $gcd$ |
| $ef$ | $gh$ | $\rightarrow$ | $e$ | $h$ |

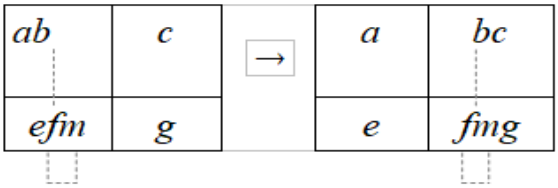
when moving, a change in varieties is specified that meets definition $M_t$ .

$M_l$ moves related ones vertically and within a pair from right cells to left ones




when moving, a change in varieties is specified that meets definition $M_l$ .

$M_r$ moves related pairs from left cells to right ones




when moving, a change in varieties is specified that meets definition $M_r$ .

The derivation rule Ev and its inverse $Ev^{-1}$ are introduced, based on the functional symbols of operations $\mu_l^{(i,\alpha)}$ and the placement of = signs in appropriate places.

The application of the convolution found in cell (1,2) of the splicing table consists of sequential application of the inference rules $M_b$ , $M_l$ , Ev. The opposite operation to the one indicated consists of the sequential application of the inference rules $Ev^{-1}$, $M_r$ , $M_t$ .

We introduce: projection derivation rules $P_{k,l}, k, l = 1,2$ , projecting a complete splice in its part, 001 $P_{k,l}$ transfers a complete splice into the contents of the (k, l)-cell of the table; rules for outputting erasure (equal sign) $D_{k,l}, k, l = 1,2$ - erasing the dotted line (equal sign) in cell (k,l).

*Definition*

A complete splice is a basic splice in which the variables x (with indices) are replaced by terms of the formal signature language of functional letters of operations and projections.

*Definition*

The procedure for applying convolution indicated above for complete basic splices is literally applicable to complete splices and gives an inductive construction of formula terms: the complete basic splice and its $P_{k,l}$ -projections are formula terms; if there is a formula term, then applying a convolution to it is also a formula term, just like its $P_{k,l}$ -projection, and there are no other formula terms.

The formula term, as a complete splice, is divided into outer, outer and inner convolutional and inner formula terms.

Let us give definitions for commonly encountered types of splice.

*Definition*

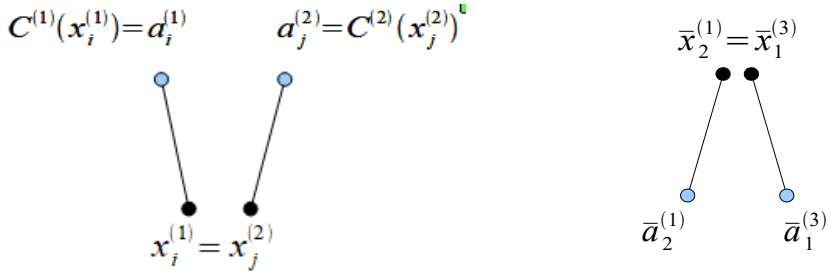
Formula $a_k^{(i)}=C^{(i)}x_k^{(i)}$ is called an elementary external convolution or an elementary external cone, respectively, formulas $a'^{(i)}_k=C'^{(i)}x'^{(i)}_k$, $\bar{a}'^{(i)}_k=\bar{C}'^{(i)}\bar{x}'^{(i)}_k$, $\bar{a}_k^{(i)}=\bar{C}^{(i)}\bar{x}_k^{(i)}$, are called an elementary external convolution or an elementary external convolution cone, an elementary internal convolution or an elementary internal cone, an elementary internal convolution or an elementary internal convolution cone. When we mean one (or any) of these cones, and it doesn't matter which one, we simply talk about an elementary splice or an elementary cone. A set of n elementary cones is called an outer n-cone or simply an outer cone when the exact number of equalities specified is not important. By arranging the strokes and overlines we get an outer convolution cone, an inner convolution cone and an inner cone. Thus, any of the four types of splice consists of a set of corresponding cones. A categorical splice contains, by definition, all possible splices obtained using the existing convolutions.

Now we can define the theory of categorical splice.

*Definition*

The formal theory of categorical splice is a signature and a set of identities together with the set of formula terms constructed above.

Following Hatcher, we introduce graphical notations similar to those used in his book [Hatcher, 1982], for example, for formula $C^{(1)}(x_i^{(1)})=a_i^{(1)}\wedge C^{(3)}(x_j^{(2)})=a_j^{(2)}\wedge x_i^{(1)}=x_j^{(2)}$ we have (in the bottom line of the table we will mirror the graphical images of the formulas from bottom to top, example on the right):




Let's construct a category splice for traditional category theory

We introduce the eight-basic formal theory, variables $x_i^{(1)}, x_i^{(2)}, x_i^{(3)}, \dots, x_i^{(8)}$, functional letters $C^{(1)}, C^{(2)}, C^{(3)}, \dots, C^{(8)}$, functional symbols $\xi_{i,j}, i\neq j, i, j=1,2,3,\dots,8$ of bijections, respectively, of the form $(j\to i)$, equality predicates $=_1, =_2, =_3, \dots, =_8$ in each sort and equality predicate = for different sorts.

We assign varieties to the cells of the table as follows:

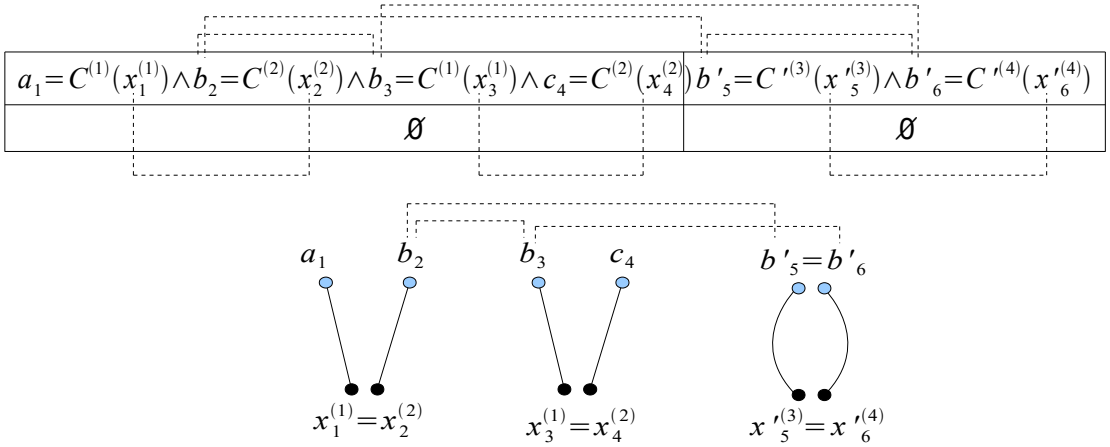
| | |
|---|---|
| 1,2 | 3,4 |
| 5,6 | 7,8 |

In the notation of letters, we will retain strokes and overlines, by which it is convenient to determine in which cell of the table the letter is located. Introducing new variables $a_k^{(i)}=C^{(i)}x_k^{(i)}, k\in\mathbb{N}$

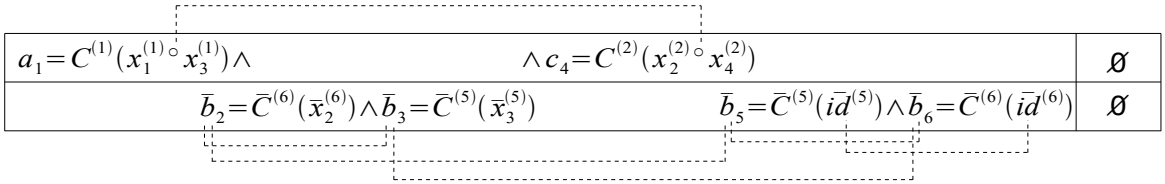
External basic convolutions consist of 2-cones of the form $a_k^{(1)}=C^{(1)}(x_k^{(1)})\wedge a_m^{(2)}=C^{(2)}(x_m^{(2)})\wedge x_k^{(1)}=x_m^{(2)}$ . The necessary external convolutions consist of cones of the form

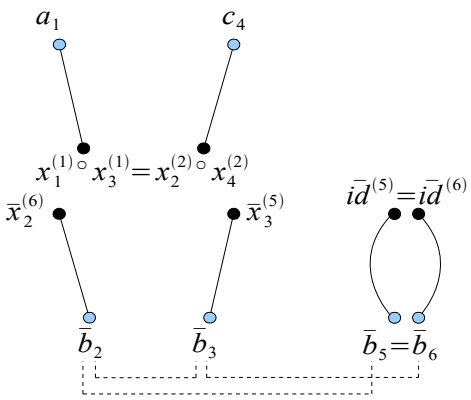
$$a'^{(3)}_i=C'^{(3)}(x'^{(3)}_i)\wedge a'^{(4)}_j=C'^{(4)}(x'^{(4)}_j)\wedge x'^{(3)}_i=x'^{(4)}_j\wedge a'^{(3)}_i=a'^{(4)}_j, i, j=1,2,\ldots .$$

Let there be a splice of two cones (corresponding to two arrows), their product is given by the convolution procedure, we set the equalities between the splice and convolution according to the table and graphical notation below




We successively apply the inference rules $M_b$ , $M_l$ , Ev we get




By imposing the properties of associativity and the presence of units on predicates, we obtain a formal theory that includes standard formal category theory (see [Hatcher, 1982]), using $P_{1,1}$ -projection as an additional step in performing convolutions. which we will omit, Ordinary categories are realized by well-known interpretation procedures, and being models of the formal theory of categories,

they are thereby models of this formal theory of categorical splice. Let us

summarize the constructions carried out in the form of a theorem. Ordinary categories are realized by well-known interpretation procedures, and being models of the formal theory of categories, they are thereby models of this formal theory of categorical splice. Let us summarize the constructions carried out in the form of a theorem.

*Theorem*

Let an arbitrary category be given, then there is a formal theory of categorical splice, for which this category is a model.

A similar theorem holds for the simplicial category, which is based on globular sets; categories based on cubic sets are also developed; the closest example for a simplicial category is the double categories introduced by Ehresmann [Ehresmann, 1963.], used in particular in conformal quantum field theory [Hu , 2007], in Szabó's polycategory theory [Garner, 2006] and in other areas [Fiore, 2007], [Grandis, 2020]. You can build a category splice, among the models of which there are double categories. Double category D is, by definition [Fiore, 2007], a categorical object in the category of small categories Cat. The construction was carried out in [Tolokonnikov, 2021], where it was proven

*Theorem*

Let a double category D be given, then there exists a categorical splice for which D is a model.

The concept of categorical splice covers basic algebraic constructions. Let's consider this important question. By algebraic theory T we mean a first-order theory with an equality, signature containing only function letters, which are called n-ary operations. Moreover, in addition to letters for operations, there are several atomic formulas s=t (s,t are terms), called axioms (identities). Many algebraic structures are axiomatized in first-order formal theories.

For groups, we have the usual definition by selecting one binary multiplication operation, one unary operation of taking the inverse element, and one nullary operation representing unity into the signature. The operations satisfy the identities

$$x\cdot(y\cdot z)=(x\cdot y)\cdot z\,,\ x\cdot e=x\,,\ e\cdot x=x\,,\ x\cdot x^{-1}=e\,,\ x^{-1}\cdot x=e$$

However, in an equivalent way, a group can be defined not by three, but by one binary division operation x:y with the axioms

$$(x:y):(y:z)=x:z\,,\ x:(y:y)=x\,,\ (x:x):(y:z)=z:y\ .$$

And, if we take the double division $x*y=x^{-1}\cdot y^{-1}$ , then the group is determined by it and the zeroary unit operation: $x\cdot y=(x*e)*(y*e),\ x^{-1}=x*e$ .

In addition to the binary operation, it is possible to construct n-ary operations in the group for any n. In the usual definition of a group by basic operations and identities, due to the presence of various tasks, the essence of what a group is is hidden behind the particular ways of defining it. A similar situation also occurs for other structures of general algebra.

There is a categorical construction that removes these questions.

By separating formal language from the interpretation of a group in Set, one can

raise the question of interpreting formal group theory in categories other than Set. However, there may not be an analogue of the concept of an element of a set (object) in other categories, so the usual understanding of interpretation according to [Maltsev, 1970] does not work. For interpretation, we can limit ourselves to categories that have works. It is only necessary to answer the question of where the variables will go during interpretation, if in algebraic systems they were translated into elements of the carrier, but when interpreted in categories, objects do not have elements. There is a way out, since identities in algebras can be formulated without using elements [McLane, 2004]. It is necessary to move from the usual interpretation of the formal language of algebraic theory in Set to a language completely interpretable using arrows of category C. The issue is solved in syntactic categories, the arrows in which are classes of equivalence of terms that are equal to each other due to the identities available in the theory; compositions of arrows are represented in the form substitutions This approach is based on

*Theorem*

Let an algebraic theory T and its syntactic category $C_T$ be given, then the following holds: $C_T$ is a category with finite products; the categorical product in $C_T$ of two objects $(x_1, \dots, x_m)$ and $(x_1, \dots, x_n)$ is given by the expression $(x_1, \dots, x_{m+n})$ ; every model of a theory T in a category with finite products can be obtained using a product-preserving functor.

The discussed representation of objects by arrows and the transition to the syntactic category made it possible to consider algebras with the entire set of operations in the generalization given by Lawvere [Lawvere, 1963].

*Definition*

Algebraic theory according to Lover is a small category with finite products, each object of which is represented as a power of the object $A, A^1 = A, A^n = A \times \dots \times A$ , and the equality $A^m \times A^n = A^{n+m}$ holds.

The syntactic category $C_T$ can be represented in the form of Lover's algebraic theory, the arrows, like the variables, remain the same as in $C_T$ . In connection with categorical splice, these issues are considered in detail in [Tolokhnikov, 2021], where, in particular, it is proved

*Theorem*.

Let an algebraic theory T and its syntactic category C be given, then there exists a categorical splice for which C is a model.

The theorem allows us to conclude that universal algebras are models of categorical splices. Similar theorems hold for various higher categories [Grandis, 2020]. So, category splice covers the basic category constructions of category theory and algebra.

### *4. Convolutional polycategories and artificial neural networks*

4.1. In this section, we will present a definition of convolutional polycategories

based on categorical splice, introduced by the author in [Tolokonnikov, 2016] and consider the representation of neural networks of arbitrary topology in the form of convolutional polycategories with crown-type convolutions [Tolokonnikov, 2016], [Tolokonnikov, 2020(a)]. We will also extend the neuron model, which uses convolutional polycategories, to a splice-based neuron model, which makes it possible to take into account non-spike communications between neurons and with other cells. In recent years, taking into account non-spike communications of neurons has attracted great interest [Kuznetsov, 2018].

*Definition*

A categorical splice is called a convolutional polycategory if it has exactly two types of sorts of variables ("inputs" and "outputs"), a projection algebra of type $C_i C_j = C_j, i, j = 1,2,3,...$ with convolutions connecting the outputs to the inputs, and being cones of the specified sorts.

Convolutional polycategories were studied in sufficient detail in [Tolokonnikov, 2016, 2017, 2018]. Let's move on to defining a new glued model of neurons and their networks.

The polycategory neuron model was introduced by the author [Tolokonnikov, 2016], the inputs and outputs of polyarrows representing neurons model the paths of spike propagation. However, intercellular communications are much richer than spike activity. Many studies have found that spike activity is influenced by other types of connections between neurons. Models of neurons have appeared [Kuznetsov, 2018] that take into account such interactions.

*Definition*

Let a categorical splice model be given that has two selected types of variables, which we will call inputs (in) and outputs (out), and n types of variables, which we will call types of non-spike communication channels. Let also this model consist of sets of cones from the indicated $n_{\text{in}} + n_{out} + n$ sorts of variables. Then each of the specified cones is called a neuron, and the model of categorical splice with the existing convolutions is called a categorical splice neural network.

Since splice includes, as special cases, convolutional polycategories and higher categories, this definition, taking into account the presence of corresponding convolutions in splice, is very general in nature and has a rich toolkit for modeling connections of great complexity between neurons that interact not only with the help of spikes. The next paragraph discusses the modeling of traditional artificial neural networks with convolutional polycategories.

4.2. One of the main available generally accepted approaches in the theory of neural networks, namely, PDP (Parallel Distributed Processing), was developed in the 1980s by a group of scientists, physiologists, psychologists, mathematicians, and computer scientists, whose members included Nobel laureate Francis Crick.

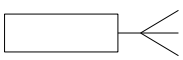
The PDP neural network model contains three types of elements, a neuron or soma (a processing element, now a processor or transputer), an axon (a signal

transmission line) and a synapse (a “junction” that converts the signal from the axon into a suitable signal for the soma).

A PDP neural network in its simplest form forms a “graph” with nodes in the form of neurons with the following properties:

(a) only one line approaches each synapse; (b) lines from different neurons approach different synapses on a given neuron; (c) transmission lines do not branch; they are ordinary graph arcs.

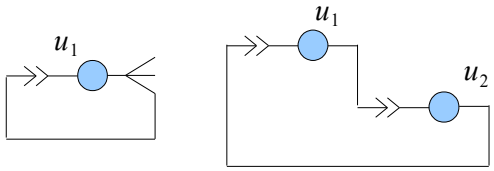
Property (c), taken from [Shirokov, 1990] p. 274, actually requires that the neuron have several outputs, this is erroneous not only because further in the text [Shirokov, 1990] the neuron produces only one signal, but and because the most important property of living neural networks is obscured, when one output is connected to several inputs of other neurons. Here, a variant of convolution is clearly used, which differs from the method of connecting arrows using compositions known in category theory. In the graphical notation from [Rumelhart, 1987] where the PDP model is described, point (c) is intended to replace



on



which fails, in the example from [Shirokov, 1990] p. 275 in the figure below, branching lines again appear.




In our approach to a neuron, in this PDP model we associate a polyarrow with inputs in the form of synapses and an output in the form of a line, which, like an axon, splits into several lines going to other neurons.

The concept of a graph includes, by definition, two sets, a set of vertices and a set of pairs of vertices. Usually, neural network engineers continue to talk about a neural network as a graph, but when they are presented with a branch point from the neural network along with the definition of the graph (which they agree with!), which is not included in the graph, they find themselves in a difficult situation: the neural network is not a graph in the usual sense, as it corresponds to the above definition. And the attempt (in the figure) to “remove” this branch point in the neuron is not accidental.

The main modern standard of neuroinformatics (see [Golubev, 2005]) is formed by neurons that calculate the value

$$a = f(Wx + b),\ x = (x_1, \dots, x_k) \in \{0,1\}^k,\ a \in \{0,1\} \ ,$$
$$W = (w_1, \dots, w_k)^T,\ w_i, b \in \mathbb{R},\ f : \mathbb{R} \to \{0,1\} \ .$$

Neurons in a neural network are connected to each other in such a way that from

the single output of a neuron (axon), the connection branches into several inputs of other neurons, including the case of connecting the output with the input of the same neuron. Thus, neuron n is represented as a function of many variables $n:\{0,1\}^k \to \{0,1\}$ . For a neural network, connections of neurons can be modeled by convolution in an associative compositional convolutional polycategory according to the following theorem, proven in [Tolokonnikov, 2017]. A convolution that branches one output into several inputs into the polyarrows of a convolutional polygraph is called a crown-type convolution.

Theorem (neural network modeling)

Let there be an artificial neural network with neurons $n:\{0,1\}^k \to \{0,1\}$ , having several inputs ( $k \in \mathbb{N}$ ) and one output, with its own activation function for each neuron, with signals arriving at the input of the neuron synapses from the set b, which is a set. Neuron connections are made by the existing output, which branches into a finite number of $m \in \mathbb{N}$ lines connecting to the inputs of other neurons. Then the neural networks built from the specified neurons form an associative compositional convolutional polycategory with a set of "crown" type convolutions.

Representing a neural network as a polycategory helps eliminate many inaccuracies in the theory of neural networks. Thus, based on the properties and concept of duality of polycategories, we built [Tolokonnikov, 2021(a)] [Tolokonnikov, 2018(a)], correct schemes of the intuitive method of S. Osovsky, popular among neural network scientists [Osovsky, 2017] for calculating the partial derivatives used in the backpropagation method.

***5. Categorical systems as categorical splices***

The categorical theory of systems arose as a variant of the formalization of the theory of functional systems by P.K. Anokhin. Consideration of the very postulates of the theory of functional systems with a discussion of the categorical paradigm, issues of formalization of the intuitive principles of isomorphism and hierarchy according to P.K. Anokhin is available in [Tolokonnikov, 2017, 2018(a), 2018(b)]. PC. Anokhin exhaustively criticized the approaches of M. Mesarovich and their varieties (which also applies to the approach to systems according to S.N. Vasiliev [Matrosov, 1980], which generalizes most of the definitions of a system in numerous works on the mathematical theory of systems) for the absence of a system-forming factor in the definition of a system. We will define categorical systems that include the formulation of a system-forming factor. The usual category can be reformulated without objects, only in the language of arrows, considering single arrows instead of objects. The same approach can be used in the theory of polycategories and splice. For greater clarity, we will now talk about convolutional polycategories. If we immediately bear in mind the highest polycategories, then polyshooters transfer lower-ranked polyshooters to other polyshooters. By systems we mean, in the general case, polyarrows and their combinations.

Now we can explain the categorical nature of P.K.'s functional systems.

Anokhina. In the set-theoretic paradigm, a function, like everything else, is reduced to the concept of a set, for example, to a graph (a set of points on a plane) for real functions of a real variable. As discussed in detail in [Goldblatt, 1983], this interpretation of the intuitive concept of a function discards the aspects of calculation, motion, and time characteristic of a function, and the categorical representation of a function by arrows seems to partially preserve this part of its intuitive content. In any case, the concept of a function and then a polyarrow includes three components, if we speak in the language of systems, then these are some initial system, a final system and the processing of the initial system into a final one, similar to the processing of words in alphabets by algorithms and calculus. In ordinary jargon, a function is often referred to as the final component of a function. Functional system P.K. Anokhina corresponds to the algorithmic component of the function, which he intuitively noted in the name with the word “functional”. In other words, by studying functional systems, P.K. Anokhin, as it were, anticipated the emergence of category theory in mathematics. His main discovery in the theory of systems, the system-forming factor, in categorical systems is interpreted as follows. Let a “need” arise for some system. Afferent synthesis corresponds to the formation of a “required result” that satisfies the “need” in the form of a description (parameters of the required result in the action result acceptor) of another system, as well as in the form of a convolution of the necessary subsystems, from which this convolution builds the functional system itself, including, its algorithmic component. The convolution itself is recorded in the action program. So, a polyarrow, obtained by convolution of a suitable set of subsystems, has as its beginning a system with problems, and its completion is the required result, which is also some kind of system. We have, both in the unconscious and in the consciousness of an animal, if we talk about higher mammals, or a person, a natural structure modeled by polyarrows and convolutions, called P.K. Anokhin functional system. Next, this ideal structure, which has a neural correlate, is obviously tested (interpreted, calculated) on real objects. If the functional system is adequate to the needs, it achieves its purpose. In case of failure, that is, if the parameters of the obtained result do not coincide with the parameters of the required result from the action result acceptor, the cycle of generation and application of a new functional system is repeated. Of course, the desired result, as a rule, can be achieved in several ways, which corresponds to obtaining function values in different ways (algorithms).

In the traditional (intuitive) theory of functional systems, a system-forming factor is understood as the required result itself, or its parameters that need to be achieved to satisfy the need; a functional system is often identified with a system-forming factor (similar to the mentioned jargon, calling it a function of its value), a goal for the organism, and so on Further. In particular, no distinction is made between systems with different values of the parameters that define them (whether the result is the same system, but with different parameter values, or a different system).

Let's summarize what has been said. By a simple system we mean a polyarrow of a convolutional polycategory, which is one of its constituents. Composite systems are built from generators and other systems using convolutions. The system-forming factor is the convolution of the subsystems of which a given system consists (recall that the “history” when subsystems are convoluted is preserved in the system), and the final component of the system, like polyarrows. The final component itself is called a system-forming factor in the narrow sense. The above applies almost literally to the case of systems defined on the basis of categorical splice.

Let two models of categorical splices be given. As in the case of categories [Mac Lane, 2013], the difference between the axiomatic definition and the model can be emphasized by the prefix “meta”. In other words, it is convenient to call categorical splices in their formal definition metasplices, and their models categorical splices. A mapping from one model or, in other words, a categorical splice to another is called a splice functor if it preserves splice structures (convolutions, projections, and so on). Here we will not study the properties of functors between categorical splices, noting only that categorical splices with splice functors form an ordinary category, which we will call the category of splices.

*Definition*

Let a categorical splice be given as a model of a formal metasplice. Then every set of categorical splice cones is called a categorical system or simply a system. A system is called composite if it is presented in the form of convolutions of other systems, called subsystems of the original system. If a system is not represented as a convolution of other systems, then it is called a simple system. Systems that are sets of elementary cones will be called object systems.

The system-forming factor according to P.K. Anokhin finds a natural model in categorical systems, according to the above description.

*Definition*

Let two object systems be given in a categorical splice, the first will be called the initial object system, the second will be called the result for the initial object system, and also the set of categorical systems $\{S_\alpha, \alpha \in I\}$, I is the index set, the splice endofunctor F in the category of systems and the convolution $\Delta$ will be given. Then, if the convolution is applicable to the set of transformed systems $\{FS_\alpha, \alpha \in I\}$, then the pair $(F, \Delta)$ is called a system-forming factor of the composite system $S = \Delta(\{FS_\alpha\})$, provided that the operation of erasing equality for S gives a set of original object systems.

### *6. Reductionism and category systems*

Is it possible to reduce chemistry to physics, is there an explanation for physiological laws in physical theory, and is it possible to “derive” them from physics? Such and similar questions relate to the problem of reductionism, that is, the problem of reducing one theory to another. In our opinion, physical (chemical,

biological, and so on) theory should be presented as a theory of physical (chemical, biological, and so on) systems. This is consistent with the currently accepted view that systems theory is a science of sciences (see, for example, [Yi-Lin Forrest, 2018]). Thus, the answer to questions about the reduction of one science to another cannot be resolved at the level of individual sciences; it is a question of systems theory. Namely, in systems theory we must decide what a physical or chemical system is, at the same time it will be possible to construct morphisms of one theory into another and, on their basis, answer questions about the relationships of systems, including the inclusion of one system in another and irreducibility one theory to another.

This question finds a solution in the category theory of systems.

For definiteness, we will now limit ourselves to first-order languages; a number of generalizations based on other logics or calculus besides classical logic turn out to be similar in principle.

Let a formal theory of categorical splices be given; we call simple, elementary (non-composite) systems splices that rely directly on functional and predicate symbols without the use of convolutions (a complete splice of a simple system has empty external convolutions and empty internal splices and convolutions). For example, in the case of systems of material points in mechanics, the material points themselves correspond to simple systems in the category system. Here we touch upon the issue of interpreting the formal theory, comparing the variables of the theory of certain objects, in particular, systems in the form of material points. Let us note that even if the issue of interpretation of variables has been resolved, the simple interpretation systems themselves do not yet determine what theory (system) is further built on them (physical, chemical, etc.). Simple systems, according to P.K. Anokhin, have numerous “degrees of freedom” that must be limited for the composite system using the resources of the system-forming factor, defined as the result that the composite system must achieve. Thus, all possible variants of movement (changes, etc.) of simple systems that form a chaos of possible movements are brought into order precisely by the system-forming factor, forcing simple systems that are part of a composite system to evolve in a completely orderly, and not arbitrary (chaotic) way. The system-forming factor for systems of material points in mechanics (classical or quantum; in quantum field theory or the standard model, not particles, but fields are considered) is the principle of least action. From it the equations of motion (Hamilton, Schrödinger) are derived, which are satisfied by the evolution of each particle as simple systems within a composite system of N material points.

The principle of least action has different expressions for classical and quantum mechanics, that is, classical and quantum systems of material points, therefore these systems are different, although they have the same simple subsystems. The final solution to the issues of the relationship between classical and quantum mechanics is carried out within the framework of a systematic consideration of these two different category systems.

Since the concept of a system includes a system-forming factor, and in both mentioned mechanics the principle of least action is sufficient for their construction, then the physical theory (theory of physical systems) called quantum mechanics or classical mechanics of N material points within the framework of the theory of categorical systems can be precisely defined as a categorical splice with simple systems in the form of N material points and a system-forming factor in the form of the principle of least action. Generalizing this example of physical theories, we define a physical theory as a theory of physical systems.

Definition

A physical system is a model that describes a subject area by formal categorical splice with a system-forming factor in the form of the principle of least action.

To specify the physical theory, it is necessary to clarify the set of functional and predicate splice symbols and select the object of interpretation of the variables and arrows of the formal splice.

Chemical systems are distinguished as systems with another system-forming factor, but with the requirement that, as in quantum chemistry, the principle of least action is not violated. In this case, chemical theory (for example, according to Bader [Bader, 2001] in his approach of “atoms in molecules”) corresponds to the system-forming factor for quantum mechanics of particles and is reduced to physics, which can be stated more precisely. However, in chemistry, numerous approximations are used, for example, hydrocarbon systems are limited to considering covalent bonds represented in chemical formulas by segments between the names of atoms. Within the framework of categorical chemistry [Tolokonnikov, 2021(a,b)], we can raise the question of which system-forming factor corresponds to such hydrocarbon systems, since the Schrödinger equation for this approximation is not satisfied and the system-forming factor in the form of the principle of least action of quantum mechanics does not operate. However, there are theories of hydrocarbon systems and they are not reducible to quantum mechanics, which can be proven as a strictly mathematical fact, rather than going into general philosophical reasoning of reductionism.

Just as algebraic theories are built in various categories, and not just in Set, one can talk about the universe of physical theories and already in this universe build a theory of functional systems, since no one undertakes to cancel the physical laws for organisms, but the system-forming factors of functional systems carry their own laws physiology, which thus, generally speaking, cannot be reduced to physical laws.

A model of an organism is usually a system of material points (atoms, molecules made up of atoms, and so on) that obey quantum mechanics. We model the latter by categorical splice with a system-forming factor in the form of the principle of least action. We consider the universe of such quantum mechanical systems. In the same way as algebraic theory is interpreted in various categories other than Set, we interpret the categorical functional system for an organism with its system-forming factors in the dynamics of system quantums according to K.V. Sudakov in the

universe of physical systems. Such a model provides tools for describing the properties and interaction of the functional and physical systems of the body.

A more straightforward approach is to consider biomechanical systems with a composite system-forming factor, the biological component of which includes the principle of survival. Higher mammals and humans are similar biomechanical systems. Indeed, their obvious mechanical part is the bone skeleton, muscles, liquid media of organisms, obeying the laws, to a first approximation, of theoretical mechanics and mechanics of continuous media, based on the principle of stationary action. However, the purposeful movements of living organisms are very far from being modeled directly by mechanical systems; the key feature here is that internal processes control the mechanics of movements. Here we are faced with mechanics with servo-constraints, proposed by Begen [Begen, 1967] and developed in our country by academician V.V. Kozlov and his colleagues [Kozlov, 2015]. However, in these studies, the mechanical system is controlled externally. It is quite obvious that in the form of mechanics with servo connections we have a significant step towards describing the movements of biomechanical systems, which requires research into systems with composite system-forming factors, including, in addition to the principle of stationary action, also the principle of survival and, possibly, other biological components that allow living organisms to function, including by controlling the movement of its mechanical parts. A similar approach is also of interest for artificial intelligence and strong artificial intelligence, which are discussed in great detail at the Congress.

### *7. Conclusion*

In conclusion, let us briefly summarize our consideration. The work is devoted to the author's approach to the ongoing problem of describing possible physical theories, which has gradually grown to the problem of classifying categorical systems as mathematical objects of the theory of convolutional polycategories and categorical splices. The work begun on the search for possible algebras of observables of Hamiltonian mechanics led to the method of functional equations in the theory of algebras, with the help of which, in addition to proposing new algebras of observables with an everywhere dense set of polynomial observables, related problems of summation of Baker-Campbell-Hausdorff series were solved, general solutions of the Yang equation were found -Baxter for some non-semisimple Lie algebras, the calculation of the Feynman integral is reduced to solving functional equations, and a classification of translation-invariant Jordan algebras, binary Lie and other algebras is obtained. The study of the relationships between the algebras of observed various physical theories requires their consideration within the framework of systems theory, as theories of certain physical systems. The systems approach is naturally carried out on the basis of category theory, which had to be addressed in connection with the discovery of categorical quantum mechanics by A. Abramsky

[Abramsky, 2009]. However, the formalization of the most advanced and effective of systems theories, namely, the theory of functional systems by P.K. Anokhin, demanded the development of the theory of convolutional polycategories and categorical splice, the beginnings of which are considered in the work. Thus, we come to the task of classifying category systems within the framework of these category theories. The rather abstract mathematical objects that one has to deal with in the approach developed by the author are nevertheless in demand, for example, in the theory of conventional artificial neural networks, as well as in the theory of biomachine systems, which has direct practical applications.

## *1. 簡介*

建構物理理論的問題是最古老的，但仍具有現實意義。 需要新的物理理論來解決量子場論的問題（[Shirokov， 1975]）、描述意識現象（[Penrose，2003]）、恢復非完整力學的哈密頓形式主義（[Kozlov，1983]）]） 等等。 鑑於物理理論種類的擴展，以及最重要的是，需要澄清它們之間的關係，需要係統理論。 物理理論可以被視為物理系統的理論，生物、化學和社會理論可以被視為生物、化學和社會系統的理論。 系統論的學科是對系統及其之間聯繫的研究，包括對各種物理理論的研究，如量子力學和經典力學，即經典系統和量子系統的研究。 通常，物理理論由可觀測值和狀態組成。 可觀測量可以相乘，也就是說，它們形成各種代數，狀態是這些代數的泛函。因此，對新物理理論的探索始於可觀測量的代數。 作者和他的科學顧問 Yu.M. Shirokov 開始尋找公理學中可觀察到的哈密頓力學的新代數 [Shirokov, 1975], [Tolokonnikov, 1977]。 代數理論中的函數方程式方法出現了，借助它，除了尋找新的代數之外，還解決了對 Baker-Campbell-Hausdorff 級數求和的老問題、某些非半簡單李的 Yang-Baxter 方程式代數和其他問題得到了解決 [Tolokonnikov, 1986, 1987, 1988]，這將在工作中討論。 由尋找新的物理理論的任務引發的向各種系統研究的過渡，導致了分類系統的構建，為此構建了新類型的分類對象，而這些對像被證明是必要的，即卷積多類別和分類黏合[托洛康尼科夫，2016（a，b），2017，2018（a，b，c），2021]，[托洛康尼科夫，2019，2020（a，b）]。 基於它們的分類語言，P.K. 的功能係統理論的形式化。 Anokhin，這也在作品中進行了討論。

## *2. 尋找新物理理論形式主義的任務*

分類黏合語言統一描述了從通用代數到多範疇和更高範疇的基本代數結構並提供了新代數結構的範例，特別是在一般系統理論中。 範疇黏合是作為形式邏輯理論引入的，具有各種宇宙中的模型，包括各種類別，包括與集合類別不同的類別。 Szabo 的多類別 [Szabo, 1975] 和作者先前引入的捲積多類別

[Tolokonnikov, 2016] 是分類黏合的特殊模型。 除了新的代數結構之外，範疇黏合理論還提供了已知範疇對偶性的描述和新型對偶性的範例，包括範疇黏合本身的對偶性。 其中的應用是透過卷積多類別來表示任意拓撲的傳統人工神經網絡，其中的對偶性特別用於澄清和證明反向傳播方法中用於計算梯度的眾所周知的 Osovsky 公式 [Tolokonnikov，2018（ a) ]，[Tolokonnikov，2020(b) )]。 提出了神經元的分類模型，不僅考慮了其尖峰活動，還考慮了其他類型的細胞間通信和具有更高分類粘合拓撲的神經網絡，這遠遠概括了傳統人工神經網絡中神經元連接的類型。 作者先前由 P.K. 提出的功能係統理論的形式化。 Anokhin 使用範疇黏合進行公理化，並以系統範疇論的形式提出，作為系統的一般理論。 系統範疇論包括形式化的系統形成因素、同構和層次原理，由 P.K. 在一般系統的直觀層面上假設。 阿諾金。 P.K. Anokhin-K.V. Sudakov 學派生理學家的著作中提出的許多功能係統圖已被修改為分類圖。 根據 Bader [Tolokonnikov, 2021(a,b)]，化學式和「分子中的原子」模型也做了類似的工作；分類化學的新興方向用於 DNA 和 RNA 分子的分類建模。 嚴格的生物分子代數模型被提出作為代數生物學的新方法，從而使得考慮生物分子的代數特性來處理基因組成為可能。 包括系統研究在內的工作內容是尋找可觀測新物理理論代數的形式主義問題方向的工作的延續。 最初，這個問題是由量子場論中的一些問題引發的，由 Yu.M. 為哈密頓力學提出。 Shirokov，他給了這種力學的公理化 [Shirokov，1975]。 隨後，R. Penrose 在尋找新物理理論的形式主義的背景下提出了同樣的問題，這些理論比已知的形式主義更適合描述意識現象 [Penrose, 2003]。 恢復非完整機械系統的哈密頓形式主義的問題，由 V.V. 成功解決。 科茲洛夫 [Kozlov, 1982-1988] 也提出了一種稱為真空力學的新力學。 在尋找物理理論的形式主義方面還有其他方向，例如南部力學[Nambu，1973]等。

根據所指示的公理學，可觀測哈密頓理論的代數有兩個二元運算 π、σ（運算子和交換子的結合乘法的類似物），滿足以下恆等式（A、B、C 是可觀測的）

$$\sigma A\pi BC=\pi\sigma ABC+\pi B\sigma AC$$
$$\sigma A\sigma BC=\sigma\sigma ABC+\sigma B\sigma AC$$
$$\sigma AB+\sigma BA=0$$

如果運算 π 是結合律，那麼另外還有恆等式

$$\pi A\pi BC=\pi\pi ABC \text{ 。}$$

顯然，在可觀測量代數中，首先必須有座標、衝量、角動量和其他可觀測量，它們是衝量和座標的多項式。

量子力學多項式乘法的雙線性二元運算可以用偽微分算子的形式表示為一系列微分運算，因此透過標準量化（以普朗克常數等於 1 的單位，$i^2=-1$），我們有

$$\pi A\,B=\pi A(x_1,\,p_1)B(x_2\,p_2)=\omega\exp(i\partial_{x_2}\partial_{p_1})A(x_1,\,p_1)B(x_2\,p_2)=$$
$$=(1+i\partial_{x_2}\partial_{p_1}+...)\,A(x_1,\,p_1)B(x_2\,p_2)|_{1=2},$$

如果我們假設乘法運算不依賴相空間中的點，那麼它是一系列微分，即運算 $\pi=\omega\pi(\partial_1,\partial_2),\sigma=\omega\sigma(\partial_1,\partial_2)$ （ $\partial_1,\partial_2,\partial_3$ 以形式變數 x, y, z 取代）滿足函數方程式：

$$\sigma(x,y)\sigma(x+y,z)+\sigma(y,z)\sigma(y+z,x)+\sigma(z,x)\sigma(y+z,x)=0,$$
$$\sigma(x,y)+\sigma(y,x)=0,$$
$$\sigma(x,y+z)\pi(y,z)=\pi(x+y,z)\sigma(x,y)+\pi(y,x+z)\sigma(x,z)\ 。$$

結合性恆等式得出方程

$$\pi(x,y)\pi(x+y,z)=\pi(y,z)\pi(x,y+z)$$

上述四個函數方程組的通解給出了哈密頓結合力學的分類，其中當然有經典力學和量子力學。 同時，這樣的分類回答了物理學家非常感興趣的問題，即一般有哪些類型的量子化，是否有 Weyl、Wick、前面提到的標準 $\pi=\omega\exp(i\partial_{x_2}\partial_{p_1})$ 等量子化，除此之外是否還有更多的量子化。已知的以及是否可以將它們全部列出。 事實上，任何量化都定義了滿足結合性和指定函數方程式的乘法運算。

在解這個方程式時，出現了由作者所發展的代數理論函數方程式方法中所包含的技術[Tolokonnikov，1986，1988]。 一般任務如下，其中包括尋找可觀測的新物理理論的代數。

令 $K[x],x=(x_1,...,x_n)$ 為特徵零域 K 上的多項式環， $\partial_i=\partial/\partial x_i$ -環 $K[x]$ 的微分。變數 $\partial^i=(\partial_1^i,...,\partial_n^i),i=1,...,m$ 中的形式冪級數的左 $K[x]$ -模 $K[x][[\partial^{1,},...,\partial^m]]$ 的元素 $\Omega(x,\partial^1,...,\partial^m)$ 具有來自 $K[x]$ 的係數，在 $K[x]$ 上定義 m 元 K -線性運算 $\Omega$ 、ω-對角線投影 $\omega:K[x^1,...,x^m]\to K[x]$ 、在 $K[x^1,...,x^m]$ 的基礎上透過公式確定

$$\omega(x^1)^{\alpha_1}...(x^m)^{\alpha_m}=x^{\alpha_1+...+\alpha_m}$$

並且透過線性擴展到其他元素。

此處和下文使用標準多重索引表示法： - $\alpha_i$ 一組 n 個非負整數。

這些符號中指示的運算 Ω 由以下公式給出

$$\Omega A_1...A_m=\omega\Omega(x^1,\partial^1,...,\partial^m)A_1(x^1)...A_m(x^m)=$$
$$=\sum_\alpha\Omega_{\alpha_1...\alpha_m}(x)\partial^{\alpha_1}A_1(x)...\partial^{\alpha_m}A_m(x),\Omega(x^1,\partial^1,...,\partial^m)\in K[x][[\partial^1,...,\partial^m]].$$

形式級數 $\Omega(x^1,\partial^1,...,\partial^m)$ 稱為運算 Ω 的核心。 將對角投影表示為 K 線性映射的組合很方便

$$\omega A(x^1,...,x^m)=\omega_0(\omega_{12}(...\omega_{m-1\,m}A(x^1,...,x^m)...)),A\in K[x^1,...,x^m],$$

在 $K[x]$ 和 $K[x^1,...,x^m]$ 的基礎上用公式指定

$$\omega_0(x^j)^\alpha=x^\alpha,\omega_{ij}f=f|_{x^i=x^j},f\in K[x^1,...,x^m]\ 。$$

如果我們引入符號 $\omega_{i_1...i_g}=\omega_{i_1i_2}*\omega_{i_2i_3}*...*\omega_{i_{g-1}i_g}$ ，其中 * 是環

$K[x^1,...,x^m]$ 的 K 向量自同態 $End_K K[x^1,...,x^m]$ 的組合，那麼前一個將被寫成 $\omega A=\omega_0(\omega_{12...n}A)$ 的形式。

當使用 $\omega_{ij}$ 次運算時，萊布尼茲微分法則 $\partial_\mu=\partial/\partial x_\mu,\partial^i_\mu=\partial/\partial x^i_\mu$ 將會寫成如下

$$\partial^i_\mu*\omega_{ij}=\omega_{ij}*(\partial^i_\mu+\partial^j_\mu),\partial_\mu\omega_0 A(x^1)=\omega_0\partial^1_\mu A(x^1),A\in K[x].$$

有 m 個自然嵌入， $id_j,j=1,2,...,m$ 個，這樣

$$id_j:K[x][[\partial^1,...,\partial^m]]\to End_K K[x^1,...,x^m],$$
$$id_j\Omega(x,\partial^1,...,\partial^m)=\Omega(x^j,\partial^1,...,\partial^m),$$

其中 $\Omega(x^j,\partial^1,...,\partial^m)$ 透過下列公式定義環 $K[x^1,...,x^m]$ 的 K 向量自同態

$$\Omega(x^j,\partial^1,...,\partial^m)A(x^1,...,x^m)=\sum_{\alpha_1,...,\alpha_m}\Omega_{\alpha_1...\alpha_m}(x^j)\partial^\alpha_1...\partial^\alpha_m A(x^1,...,x^m).$$

方便地將多項式 $K[x^1,...,x^m]$ 的環視為可數個變數 $x^1,...,x^m,...$ 的多項式的環 $K[x^1,...,x^m,...]$ 的子環，並將 $End_K K[x^1,...,x^m]$ 視為環 $End_K K[x^1,...,x^m,...]$ 的子環，即，每個自同態 $\alpha\in End_K K[x^1,...,x^m]$ 誘導由關係 $\tilde\alpha f=\alpha f_m$ 定義的自同態 $\tilde\alpha\in End_K K[x^1,...,x^m,...]$，其中 $f_m\in K[x^1,...,x^m]\subset K[x^1,...,x^m,...]$ 和 $f-f_m$ 是集合 $\{x^j|j>m\}$ 產生的 $End_K K[x^1,...,x^m,...]$ 中的理想元素。

我們也將用星號 * 表示環 $End_K K[x^1,...,x^m]$ 的 K 向量自同態的組成：

$$(\Omega_1*\Omega_2)A=\Omega_1(\Omega_2 A),\Omega_1,\Omega_2\in End_K K[x^1,x^2,...],A\in K[x^1,x^2,...].$$

讓我們用 $\Omega^{(\infty)}=\cup_{i=1}^\infty\Omega^{(i)}$ $\Omega^{(i)}$ 來表示 $K[x]$ 上的有限局部 K 多重線性運算的集合， - 元數 i 的 $K[x]$ 上的 K 多重線性運算的集合。

固定數量的 $\Omega^{(m)}$ x $K[x]$ 運算的集合是 K 向量空間

$$(\sum_i a_i\Omega_i)A_1...A_m=\sum_i a_i\Omega_i A_1...A_m,a_i\in K,i=1,2,...,\Omega_i\in\Omega^{(m)}.$$

我們注意到環 $End_K\Omega^{(m)}$ 的一個重要的子環是由同態 $End_K K[x]$ 引起的，即每個元素 $U\in End_K K[x]$ 通過下式延伸到同態 $\hat U\in End_K\Omega^{(m)}$

$$(\hat U\Omega)(x,\partial^1,...,\partial^m)=\sum_{\alpha_1...\alpha_m}U\Omega_{\alpha_1...\alpha_m}(x)(\partial^1)^\alpha_1...(\partial^m)^{\alpha_m},$$

其中 $\Omega(x,\partial^1,...,\partial^m)=\sum_{\alpha_1...\alpha_m}\Omega_{\alpha_1...\alpha_m}(x)(\partial^1)^\alpha_1...(\partial^m)^{\alpha_m}$ 是運算 Ω 的核。

自同態 $\hat U$ 有以下形式

$$(\hat U\Omega)(x,\partial^1,...,\partial^m)=U(x,\hat\partial)\Omega(x,\partial^1,...,\partial^m),$$

其中 $\hat\partial=(\hat\partial/\partial x_1,...,\hat\partial/\partial x_n)$ 是一組運算符，用於區分系列 003 $\Omega(x,\partial^1,...,\partial^m)$ 相對於變數 $x_1,...x_n$ 的值，運算子 $\hat\partial$ 帶有上限以將其與區分開， $\partial^1,...,\partial^m$ 是 $K[x][[\partial^1,...,\partial^m]]$ 中的形式變數。

我們也表示從 $End_K\Omega^{(m)}$ 到 $*$ 映射 $\omega_0,\omega_{ij}$ 的同態組合操作類似地繼續：

$$\hat{\omega}_0\Omega(x^{1,}\partial^1,...,\partial^m)=\Omega(x,\partial^1,...,\partial^m),\hat{\omega}_{ij}\Omega(...,x^i,...,x^j,...\partial^1,...,\partial^m)=$$
$$=\Omega(...,x^i,...,x^i,...\partial^1,...,\partial^m),\hat{\omega}_{i_1...i_g}=\hat{\omega}_{i_1i_2}*\hat{\omega}_{i_2i_3}*...*\hat{\omega}_{i_{g-1}i_g}$$
$$\hat{\omega}\,\Omega=\hat{\omega}_0(\hat{\omega}_{1...\mathrm{m}}\Omega),\Omega\in K[x^1,...,x^m][[\partial^1,...,\partial^m]].$$

[Tolokonnikov, 1988] 可以證明，對於形式級數 $K[x][[\partial]],x=(x_1,...,x_n)$ 的環的變數 $\partial_j$ 的微分運算 $D_j=\partial/\partial(\partial_j)$ 滿足以下關係

$$D_j(U*V)=(D_jU)*V+U*D_jV,U,V\in K[x][[\partial]] \text{ 。}$$

營運 $\hat{\omega},\hat{\omega}_0,\hat{\omega}_{\alpha\beta}$ 與 16 $D_j(\alpha,\beta=1,...,n)$ 通勤：

$$D_j\hat{\omega}U=\hat{\omega}\,D_jU,D_j\hat{\omega}_0U=\hat{\omega}_0D_jU,D_j\hat{\omega}_{ij}U=\hat{\omega}_{ij}D_jU \text{ 。}$$

有限運算形成關於它們的組合的部分代數 $\{\Omega,*\}$ ，也用星號表示，考慮到上下文時，這不會導致混亂。 可以看出，對於 $End_K K[x]$ 個自同態中的 $U*V$ 個自同態的組合，有一個明確的公式

$$(U*V)(x,\partial)=\breve{\omega}\exp\{\sum_{j=1}^{n}\hat{\partial}_{x_j^2}D_j^1\}U(x^1,\partial^1)V(x^2,\partial^2) \text{ ，}$$

其中 $U(x^1,\partial^1),V(x^2,\partial^2)$ 是算子核， $D_j^1$ 是形式級數 $U(x^1,\partial^1)$ 相對於形式變數 $\partial_j^1$ 的微分， $\hat{\partial}_{x_j^2}$ 是形式級數 $V(x^2,\partial^2)$ 相對於形式變數 $x_j^2$ 的微分， $\breve{\omega}$ 是相對於形式變數 $x_j^2$ 的對角線投影變數 $x_j$ 和 $\partial_j$ ，即 $\breve{\omega}A(x^1,x^2,\partial^1,\partial^2)=A(x,x,\partial,\partial)\in K[x][[\partial]].$

運算子 $U=End_K K[x]$ 被定義為 $\{\Omega,*\}$ 中的任何運算。從偏代數 $\{\Omega,*\}$ ，使用可逆運算子 $U=Aut_K\Omega^{(m)}$ （它是 $U=Aut_K k[x]$ 的延續），可以透過偏運算轉到等效的偏代數 $\{\Omega,\circ\}$

$$\hat{U}(\Omega_1*\Omega_2)=\hat{U}\,\Omega_1\circ\hat{U}\,\Omega_2 \text{ ，}$$

其中運算符 $D_j$ 是微分。

最後，我們可以表達代數理論中函數方程式方法所承諾的關鍵問題。

給 $K[x]$ 一個 m 元 K 線性運算 Ω，它滿足可表示為的恆等式

$$\xi=0 \text{ ，}$$

其中 $\xi$ 是與相同數量 $a$ 的運算 Ω 的 K 個導數的係數的線性組合。

例如，對於特徵零域上的代數運算，在不失一般性的情況下，我們可以限制自己只考慮多線性運算，因為在這種情況下，任何恆等式都等價於多線性 Σ 系統[Zhevlakov, 1978]。 此外，對於這種情況，A.I. Maltsev [Maltsev, 1950]將描述可能恆等式的任務簡化為列出對稱群的非等價不可約表示。 如果我們使用上面介紹的概念和定義，則可以根據操作 002 Ω 的內核計算操作 xi 的內核 001 $\xi(x,\partial^1,...,\partial^m),a\geq m$ 。 因此，每個恆等式為運算 003 Ω 的內核產生一個 * 算子函數方程

$$\xi(x,\partial^1,...,\partial^m)=0 \text{ 。} \qquad (*)$$

例如，如果 π 是結合二元運算，則結合符為零的等式導致內核 004 $\pi(x,\partial^1,\partial^2)$ 得到結合性的 * 運算子函數方程

$$\omega\{\pi(x^1,\partial^1+\partial^2,\partial^3)*\pi(x^1,\partial^1,\partial^2)-\pi(x^1,\partial^{1,}\partial^2+\partial^3)*\pi(x^2,\partial^2,\partial^3)\}=0$$ 。

如果在一個普適代數中存在多個不同元數的運算，則代數中存在的恆等式會導致一個*算子方程組（*）。

因此，可觀測到哈密頓力學的代數公理導致了 *-算子方程組

$$\omega\{\sigma(x^1,\partial^1,\partial^2+\partial^3)*\sigma(x^2,\partial^2,\partial^3)-\sigma(x^1,\partial^1+\partial^2,\partial^3)*\sigma(x^1,\partial^1,\partial^2)-$$
$$-\sigma(x^1,\partial^{2,}\partial^1+\partial^3)*\sigma(x^1,\partial^1,\partial^3)\}=0,$$
$$\omega\{\sigma(x^1,\partial^1,\partial^2+\partial^3)*\pi(x^2,\partial^2,\partial^3)-\pi(x^1,\partial^1+\partial^2,\partial^3)*\sigma(x^1,\partial^1,\partial^2)-$$
$$-\pi(x^1,\partial^{2,}\partial^1+\partial^3)*\sigma(x^1,\partial^1,\partial^3)\}=0,$$
$$\sigma(x^1,\partial^1,\partial^2)+\sigma(x^1,\partial^2,\partial^1)=0.$$

作者首先介紹了*算子函數方程組，他也發現了許多此類系統在某些李群下不變的通解。 特別是，所討論的具有不依賴 005 $x=(x_1,\ldots,x_m)$ 變數本身的運算核的方程式屬於在移位組下不變的代數。

因此，如果我們將量子和經典力學中包含多項式並且運算在每個因子中都是線性的自然條件強加於哈密頓理論的可觀測量代數，那麼所有可能的物理理論的可觀測量代數就位於指定的*算子函數方程組的解中。

這些方程式的通解給出了哈密頓代數的完整分類，從而給出了所有可能的哈密頓力學。

逐漸地，至少在某種程度上與物理相關的恆等式函數方程式被求解，平移不變替代方案、Jordan、二元李代數、接近結合的代數被分類，最後，由於求解*-算子泛函，出現了新的代數類方程式。 形成了一定的技術工具包，構成了代數理論中的函數方程式方法。

求解 * 算子方程式的難度可以透過在尋找新的可觀測代數過程中解決的幾個「邊」問題來評估。 這些問題之一是在形式群論中對 Baker-Campbell-Hausdorff 級數求和的眾所周知的未解決問題（尚不清楚在對級數求和時如何從不斷增加的交換器數量中引入相似項）；計算費曼路徑的版本積分與這些系列相關。 一個重要的例子是與量子楊-巴克斯特方程相關的結合性方程，該方程使用函數方程的方法來尋找最簡單的非半簡單李代數的第一個通解。 讓我們以函數方程式方法計算的乘法運算為例（其中對洛倫茲群的 Baker-Campbell-Hausdorff 級數進行了總結）（與上述標準乘法 006 $\pi\,A\,B=\omega\exp(i\,\partial_{x_2}\partial_{p_1})\,A(x_1,p_1)\,B(x_2\,p_2)$ 類似）

$$(\pi AB)\,(\alpha, \ldots, \mu) = \omega\pi\,(\alpha, \ldots, \partial^2)\,A\,(\alpha_1, \ldots, \mu_1)\,B\,(\alpha_2, \ldots, \mu_2);$$

$$\ln \pi\,(\alpha, \ldots, \partial^2) = -\alpha\partial_{\alpha_2} - \nu\partial_{\nu_2} - \mu\partial_{\mu_1} - \beta\partial_{\beta_1} - \gamma \ln R + 2w\Delta + R \exp(-\partial_{\gamma_1})\{[\nu\partial_{\nu_2} + \alpha\partial_{\alpha_2} +$$

$$+ (\nu\partial_{\mu_1} - \alpha\partial_{\beta_1})(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})/2] \cos \partial_{w_1} + [\alpha\partial_{\nu_2} - \nu\partial_{\alpha_2} + (\alpha\partial_{\mu_1} + \nu\partial_{\beta_1})(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})/2] \sin \partial_{w_1}\} +$$

$$+ 2 \exp(-\partial_{\gamma_2})(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})^{-1}\{(\beta\partial_{\nu_2} + \mu\partial_{\alpha_2}) \sin \partial_{w_2} + (\mu\partial_{\nu_2} - \beta\partial_{\alpha_2}) \cos \partial_{w_2} - R[\mu\partial_{\nu_2} - \beta\partial_{\alpha_2} +$$

$$+ (\beta\partial_{\beta_1} + \mu\partial_{\mu_1})(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})/2] \cos(\partial_{w_2} + 2\Delta) -$$

$$- R[\beta\partial_{\nu_2} + \mu\partial_{\alpha_2} + (\beta\partial_{\mu_1} - \mu\partial_{\beta_1})(\partial^2_{\alpha_2} + \partial^2_{\nu_2})/2] \sin(\partial_{w_2} + 2\Delta)\},$$

*zde*

$$\Delta = \arcsin\left(\partial_{\nu_2} \Big/ \sqrt{\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\nu_2}}\right) - \arcsin\left([2\partial_{\nu_2} + \partial_{\mu_1}(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})] \Big/ 2\sqrt{R(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})}\right),$$

$$R = [1 + \partial_{\mu_1}\partial_{\nu_2} - \partial_{\beta_1}\partial_{\alpha_2} + (\partial^2_{\mu_1} + \partial^2_{\beta_1})(\partial^2_{\nu_2} + \partial^2_{\alpha_2})/4]^{-1},\ A,\ B \in \mathfrak{A}.$$

在 20 世紀的最後幾十年裡，出現了兩個方向，其中最重要的是尋找可觀測代數的新形式主義問題。 第一件事是 R. Penrose 出版的書籍 [Penrose, 2003]，他在書中論證了現有物理理論不足以描述意識現象，並提出了為這種意識現象尋找新物理理論的任務。人類的根本問題。 這裡我們有強大的人工智慧，「機器能思考嗎？」…但我們不會在這裡詳述。

其次，這是對 Vasyukov V.L.這一事實的認識和部署。 所謂「多元主義」[Vasyukov，2012]，意味著存在眾多邏輯學家、數學家，我們還要補充一下，物理學家…這裡的先驅當然是喀山數學學校 N.I. Lobachevsky 的科學家，他們發現了非歐幾里德數學幾何學，以及提出並研究了第一個三值邏輯的 P.S. Poretsky [Poretsky, 1884]。

所討論領域發展的一個不可避免的階段是轉向系統理論。 顯然，沒有人會爭辯，理論有多種類型，物理的、化學的、生物的等等。 因此，很自然地從“物理理論”一詞轉向“物理系統理論”，分別轉向化學、生物和其他系統理論。 正如現在普遍接受的那樣，系統理論本身就是一門科學中的科學（例如，請參見[Yi-Lin Forrest，2018]）。 然而，在這裡，還原論出現了，這在物理學家中經常出現，例如將化學還原為物理學，將生物學還原為物理學，以及…將意識現象視為一種物理現象，R.彭羅斯為此設定了任務尋找合適的物理理論。 但是，例如，意識在接受行為結果的功能係統中表現出來……R.彭羅斯沒有提到將功能係統簡化為物理系統。 也許收斂不會發生在字面上，而是發生在功能係統的宇宙融入物理系統的宇宙中，甚至反之亦然。 作為一種選擇，我們進一步討論具有複合系統形成因素的系統。 顯然，這裡的方法應該基於某種功能物理系統，並且應該有一個數學裝置可以準確地描述這種類型的系統 這個裝置是一種新的物理理論，同時也是一種生理學理論。 還原論也存在於物理學本身中，例如，以將經典力學還原為量子力學的形式。 系統理論建議考慮系統層面的理論與語言之間的關係。 還原論最簡單的版本在於構造從一種理論到另一種理論的某種態射（向極限的過渡、作為子理論的考量等）。

在 Yu.M. Shirokov 關於哈密頓力學公理學的基礎著作中[Shirokov, 1975] 表明，從量子力學到經典力學不存在這種態射，並且理論之間的關係是在不同的層次和語言上描述的。

對系統方法的探討令人震驚，系統概念的數十個定義令人震驚。 然而，正如 P.K. 所證明的，除了功能係統理論之外，所有方法（包括數學系統理論的嚴格方法）。 Anokhin [Anokhin，1973] 的罪過是完全沒有提及該機制，事實上，該機制是由不同的部件組裝而成的。 P.K. Anokhin 正是將這種機制稱為系統形成因素，並將其置於系統概念的最前線。 P.K. Anokhin、K.V. Sudakov 及其學派的直觀構造，特別是以大量功能係統圖的形式，作者使用類別粘合和卷積多類別語言，在系統範疇論中形式化。 值得注意的是，隨著一定的現代化，功能係統圖獲得了分類圖的地位，這些圖與分類圖非常相似。 人們甚至可以藉助這些方案來討論功能係統理論的某種初始形式化。 請注意，P.K. Anokhin 給出的系統分類論中形式化的系統假設，立即將不同於集合論傳統宇宙的廣泛宇宙類轉化為分類語言 [Tolokonnikov，2018]。

3. 分類塗膠

3.1. 多類別由 Szabo [Szabo, 1975] 於 1985 年作為一組多箭頭引入，其組成的定義類似於類別和多類別中箭頭和多箭頭的組成。 多箭頭具有輸入和輸出；用它們來建模神經元是很自然的。 然而，在大腦中觀察到的神經元連接（參見 [Sidorov, 2012], [Anastassiou, 2011]）比 Szabo 多類別的組成所能提供的可能性要豐富得多。 Szabo 的多類別理論有應用（參見 [Shulman，2020]），但非常複雜；按照 R. Garner 的說法，「手動」處理它們會遇到問題 [Garner，2008]。 對於對稱多類別的情況，R. Garner 在適當的兩側 Kleisli 雙類別中以單子的形式建構了它們的表示。 G. Garner 所建構的表示以 struts 類別中么半群的形式概括了類似的眾所周知的多類別表示 [Burroni, 1971]、[Hermida, 2000]、[Leinster, 2004]。 [Koslowski, 2005] 中任意多類別的類似概括的嘗試並沒有導致多類別表示的最終建構。 Szabo 為邏輯問題引入了多個類別，其中推理規則是 Gentzen 方法中的多箭頭（前提的合取被轉換為公式的析取），並且它們使用第一個多箭頭的一個輸出和另一個多箭頭的一個輸入相互連接。 連接多箭頭方法的這種限制在 MacLane [MacLane, 1965] 引入的 PROP 中得到了一定程度的消除（及其變體、dioperad 等，請參見 [Graves, 2020]，以及 Markl M.操作和道具， 2006，arXiv：math/0601129v3）。

在我們的方法中，我們從對大腦中神經元連接進行建模的需求出發，在 Szabo 和 PROP 多類別中所研究的多箭頭組合形式中沒有足夠的連接，並且在必要時採用系統理論不僅將未來的子系統組裝成一個系統，而且還將其分解為子系統。 為此，我們用一種新的、更通用的連接類型（稱為卷積）替換多箭頭的組合，引入並使用分類粘合，通過明確分配獲得多箭頭的歷史（類別中的

神經的類似物）來建構多類別。）[托洛科尼科夫，2016、2017、2018、2021]。

3.2. 讓我們考慮具有投影 $x_k^{(i)}, C^{(j)}, i, j, k \in \mathbb{N}$ 的變數和功能符號的可數變體。

輸入具有屬性的 $(i \to j)$ 形式的功能符號

$$\xi_{ij} \xi_{ji} x_k^{(i)} = x_k^{(i)}, i \neq j \ 。$$

對於每個 i，我們表示 $\check{C}_i^{(j)} = \xi_{ij} C^{(j)} \xi_{ji}$ 並引入公理

$$\check{C}_i^{(k)} \check{C}_i^{(j)} = \check{C}_i^{(l)} \ (\ \check{C}_i^{(i)} \check{C}_i^{(i)} = \check{C}_i^{(i)}, i, j, k \in \mathbb{N}\ )。$$

因此，函數符號形成一個（元）代數，乘法表對應最後的公理。

我們引入公式 $Ob^{(i)}(x^{(i)}) \stackrel{\text{def}}{=} (x^{(i)} =_i C^{(i)}(x))$ 的符號，以及類型 i 的變數 $a_k^{(i)}, k = 1,2,3 ...$（物件、區域），僅限於由 $Ob^{(i)}(x^{(i)})$ 和有限量詞組成的集合

$$\forall^{Ob} a_k^{(i)} W(a_k^{(i)}) \stackrel{\text{def}}{=} \forall\, x^{(i)} (Ob(x^{(i)}) \supset W(x^{(i)})),$$
$$\exists^{Ob} a_k^{(i)} W(a_k^{(i)}) \stackrel{\text{def}}{=} \exists x^{(i)} (Ob(x^{(i)}) \wedge W(x^{(i)})).$$

我們引入 $(i \to j)$ $x^{(i)} =_{ij} x^{(j)} \stackrel{\text{def}}{=} (x^{(i)} =_i \xi_{ij} x^{(j)})$ 形式的相等謂詞。

對於每一類，我們引入一組基本函數符號 $\mu_l^{(i)}, \nu_l^{(i)}, ..., l = 1,2, ...$，稱為 $n$ 元運算，$n$=0,1,2,3,... 和一組恆等式，作為一類項的等式 $t_m^{(i)} = t_k^{(i)}$ 。

我們引入了所指示的變體集合的可數數 $\alpha = 1,2,3, ... \in \mathbb{N}$，以表示我們將添加一個額外的索引，換句話說，我們已經分別考慮變量，符號，等式，恆等式和同構，$x_k^{(i,\alpha)}, C^{(i,\alpha)}, \mu_l^{(i,\alpha)}, ..., =_{i,\alpha,i',\alpha'}, \xi_{ij}^{(\alpha)}$，注意同構，不像等式，不要在不同 α 的品種之間進行操作。

*定義*

簽名 - 一組投影和操作 $C^{(i)}, \mu_l^{(i)}$ 的功能字母。

我們輸入 $x_k^{(i,\alpha)}, C^{(i,\alpha)}, \mu_l^{(i,\alpha)}, ..., =_{i,\alpha,i',\alpha'}, \xi_{ij}^{(\alpha)}$ 品種的三個副本，第一個用於外部卷積，其中所有字母都被賦予筆畫 $x'^{(i,\alpha)}_k, C'^{(i,\alpha)}, \mu'^{(i,\alpha)}_l, ..., ='_{i,\alpha,i',\alpha'}, \xi'^{(\alpha)}_{ij}$，以區別於外部粘合的主要字母，第二個用於內部卷積並被賦予筆畫 $x'^{(i,\alpha)}_k, C'^{(i,\alpha)}, \mu'^{(i,\alpha)}_l, ..., ='_{i,\alpha,i',\alpha'}, \xi'^{(\alpha)}_{ij}$ 。，除了筆畫具有上劃線 $\bar{x}'^{(i,\alpha)}_k, \bar{C}'^{(i,\alpha)}, \bar{\mu}'^{(i,\alpha)}_l, ..., {}^{-}='_{i,\alpha,i',\alpha'}, \bar{\xi}'^{(\alpha)}_{ij}$ 外，第三個用於內部塗膠並且僅賦予上劃線 $\bar{x}_k^{(i,\alpha)}, \bar{C}^{(i,\alpha)}, \bar{\mu}_l^{(i,\alpha)}, ..., {}^{-}=_{i,\alpha,i',\alpha'}, \bar{\xi}_{ij}^{(\alpha)}$ 。

*定義*

完整的基本黏合是由公式的連接詞組成的公式

$$a_k^{(i,\alpha)} =_{i,\alpha} C^{(i,\alpha)}(x_k^{(i,\alpha)}), a'^{(i,\alpha)}_k ='_{i,\alpha} C'^{(i,\alpha)}(x'^{(i,\alpha)}_k),$$
$$\bar{a}'^{(i,\alpha)}_k ='^{-}_{i,\alpha} \bar{C}'^{(i,\alpha)}(\bar{x}'^{(i,\alpha)}_k), \bar{a}_k^{(i,\alpha)} = {}^{-}_{i,\alpha} \bar{C}^{(i,\alpha)}(\bar{x}_k^{(i,\alpha)})$$

等式 $\eta_k^{(i,\alpha)} = \theta_m^{(j,\beta)}$ 、 $\eta_k^{(i,\alpha)}, \theta_m^{(j,\beta)}$ 是所指示的 $a_n^{()}, x_m^{()}, n, m \in \mathbb{N}$ 個品種的任

意符號，等號對應的下標在此省略。

*定義*

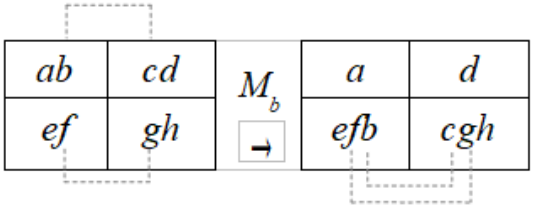
讓我們將每個完全黏合公式的連接詞分散到 2x2 表格的四個儲存格中。在單元格 (1,1) 中，我們放置外部黏合的子公式，不加陰影線，也不給字母加上劃線。 在儲存格 (1,2) 中，我們放置包含外部卷積子公式筆畫的字母。 在單元格(2,1) 中，我們用上劃線放置包含內部卷積子公式的字母，在單元格(2,2) 中，我們用上劃線和筆畫放置包含內部卷積子公式的字母：

| | |
|---|---|
| $u$ | $v'$ |
| $\overline{w}$ | $\overline{r'}$ |

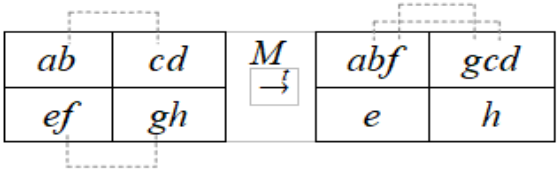
根據完全黏合公式的構造，等式子公式僅包含在 $a=C(x)$ 形式的子公式中找到的變數字母。這允許從表中排除等號，用虛線替換等式公式連接等式中包含的變數字母。

讓我們定義特定於分類黏合的推導規則 $M_t, M_r, M_l, M_b$ ，它將完全黏合的一些公式轉換為其他公式。

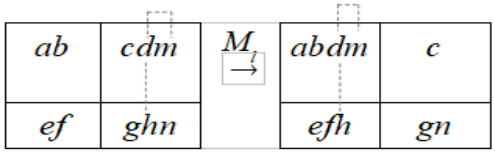
$M_b$ 將具有連接的公式中的連接詞從上部移動到下部單元格（其中一個在左側，另一個在右側），




移動時，指定品種變化以滿足定義 $M_b$ 。

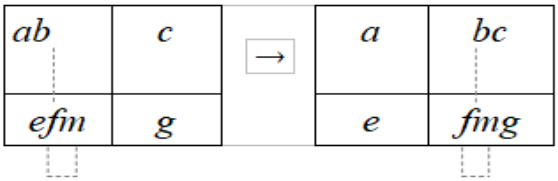



移動時，指定品種變化以滿足定義 $M_t$ 。




移動時，指定了符合定義 $M_l$ 的品種變化。

$M_r$ 將相關對從左側儲存格移至右側儲存格




移動時，指定了符合定義 $M_r$ 的品種變化。

基於運算 $\mu_l^{(i,\alpha)}$ 的函數符號以及 = 符號在適當位置的放置，引入推導規則 Ev 及其逆 $Ev^{-1}$。

拼接表單元格 (1,2) 的捲積應用包括推理規則 $M_b$ 、 $M_l$ 、Ev 的順序應用。 與所示操作相反的操作包括推理規則 $Ev^{-1}$, $M_r$ , $M_t$ 的順序應用。

我們介紹：投影推導規則 $P_{k,l}, k, l = 1,2$ ，在其部分投影完整的黏合， $P_{k,l}$ 將完整的黏合轉移到表格的（k，1）單元格的內容中； 輸出擦除（等號）的規則 $D_{k,l}, k, l = 1,2$ -擦除單元格（k，1）中的虛線（等號）。

*定義*

完全粘合是一種基本粘合，其中變量 x（帶有索引）被操作和投影的功能字母的形式簽名語言的術語替換。

*定義*

上述對完全基本黏合應用卷積的過程實際上適用於完全基本黏合，並給出公式項的歸納構造：完全基本黏合及其 $P_{k,l}$ -投影是公式項； 如果有公式項，那麼對其應用卷積也是一個公式項，就像它的 $P_{k,l}$ -投影一樣，並且沒有其他公式項。

公式項作為一個完整的黏合，分為外、外、內卷積和內公式項。

讓我們給出常見黏合類型的定義。

*定義*

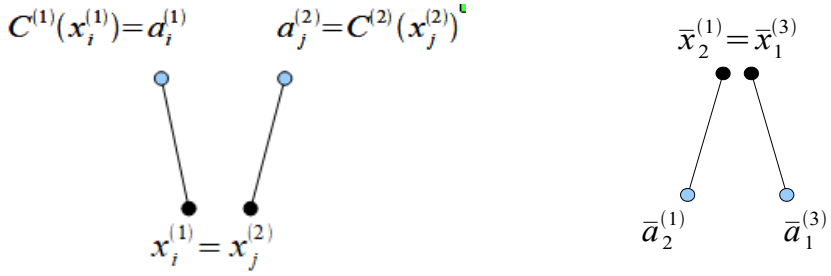
式 $a_k^{(i)} = C^{(i)} x_k^{(i)}$ 分別稱為初等外卷積或初等外錐，式 $a'^{(i)}_k = C'^{(i)} x'^{(i)}_k$ 、 $\bar{a}'^{(i)}_k = \bar{C}'^{(i)} \bar{x}'^{(i)}_k$ 、 $\bar{a}_k^{(i)} = \bar{C}^{(i)} \bar{x}_k^{(i)}$ 、分別稱為初等外卷積或初等外卷積錐、初等內卷積或初等內錐、初等內卷積或初等內卷積。基本內卷積錐。 當我們指的是這些圓錐體中的一個（或任何一個）時，無論是哪個圓錐體都沒關係，我們只是談論基本黏合或基本圓錐體。 當指定的等式的確切數量並不重要時，一組 n 個基本錐體稱為外 n 錐體或簡稱為外錐體。 透過排列筆劃和上劃線，我們得到一個外卷積錐、一個內卷積錐和一個內錐。 因此，四種黏合類型中的任何一種都由一組相應的錐體組成。 根據定義，分類黏合包含使用現有捲積獲得的所有可能的黏合。

現在我們可以定義分類黏合理論。

*定義*

分類黏合的形式理論是一個簽名和一組恆等式以及上面建構的一組公式項。

繼 Hatcher 之後，我們引入了與他的書[Hatcher，1982] 中使用的圖形符號類似的圖形符號，例如，對於公式 $C^{(1)}(x_i^{(1)})=a_i^{(1)}\wedge C^{(3)}(x_j^{(2)})=a_j^{(2)}\wedge x_i^{(1)}=x_j^{(2)}$ ，我們有（在表格的底行中，我們將從下到上鏡像公式的圖形圖像，右側範例）：




讓我們為傳統範疇論建構一個範疇黏合

我們介紹了八個基本形式理論，分別是形式 $(j\to i)$ 的雙射變數 $x_i^{(1)},x_i^{(2)},x_i^{(3)},\ldots,x_i^{(8)}$ 、功能字母 $C^{(1)},C^{(2)},C^{(3)},\ldots,C^{(8)}$ 、功能符號 $\xi_{i,j},i\neq j,i,j=1,2,3,\ldots,8$ 、每個類別中的等式謂詞 $=_1,=_2,=_3,\ldots,=_8$ 以及不同類別的等式謂詞=。

我們將品種分配給表格的單元格，如下所示：

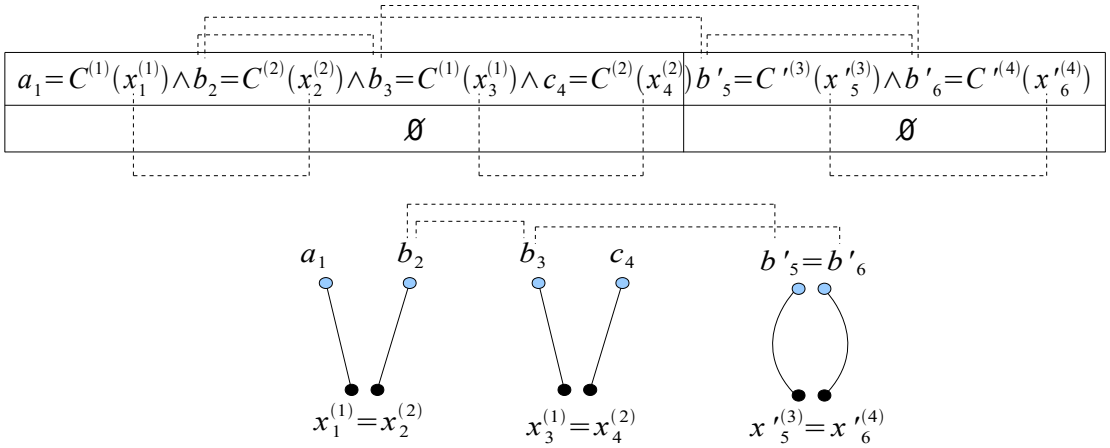
| | |
|---|---|
| 1,2 | 3,4 |
| 5,6 | 7,8 |

**在字母的標註中，我們會保留筆畫和上劃線，這樣可以方便的確定該字母位於表格的哪個單元格中。 引入新變數** $a_k^{(i)}=C^{(i)}x_k^{(i)},k\in\mathbb{N}$ .

外部基本卷積由 $a_k^{(1)}=C^{(1)}(x_k^{(1)})\wedge a_m^{(2)}=C^{(2)}(x_m^{(2)})\wedge x_k^{(1)}=x_m^{(2)}$ 形式的 2 個錐體組成。必要的外部卷積由以下形式的錐體組成

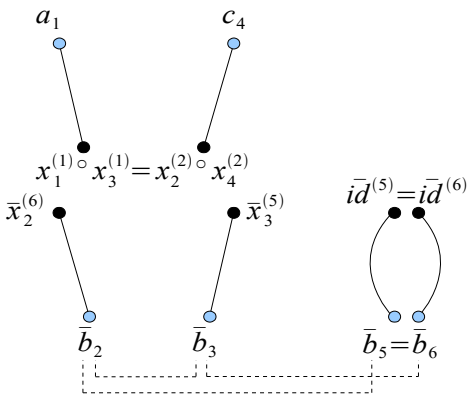
$$a'^{(3)}_i=C'^{(3)}(x'^{(3)}_i)\wedge a'^{(4)}_j=C'^{(4)}(x'^{(4)}_j)\wedge x'^{(3)}_i=x'^{(4)}_j\wedge a'^{(3)}_i=a'^{(4)}_j,i,j=1,2,\ldots .$$

假設有兩個圓錐體的黏合（對應於兩個箭頭），它們的乘積由卷積過程給出，我們根據下面的表格和圖形符號設定黏合和卷積之間的等式




我們依序應用推理規則 $M_b$ ， $M_l$ , Ev 我們得到

| | |
|---|---|
| $a_1=C^{(1)}(x_1^{(1)}\circ x_3^{(1)})\wedge \qquad \wedge c_4=C^{(2)}(x_2^{(2)}\circ x_4^{(2)})$ | $\varnothing$ |
| $\bar{b}_2=\bar{C}^{(6)}(\bar{x}_2^{(6)})\wedge\bar{b}_3=\bar{C}^{(5)}(\bar{x}_3^{(5)}) \qquad \bar{b}_5=\bar{C}^{(5)}(i\bar{d}^{(5)})\wedge\bar{b}_6=\bar{C}^{(6)}(i\bar{d}^{(6)})$ | $\varnothing$ |




透過在謂詞上施加結合性屬性和單位的存在，我們獲得了一個包括標準形式範疇論的形式理論（參見[Hatcher，1982]），並使用 $P_{1,1}$ - projection 作為執行卷積的附加步驟。 我們將省略它，普通範疇是透過眾所周知的解釋程序來實現的，並且是範疇的形式理論的模型，因此它們是這種範疇黏合的形式理論的模型。 讓我們總結一下以定理形式進行的構造。

*定理*

給定一個任意類別，則存在一個正式的類別黏合理論，該類別是該理論的模型。

類似的定理也適用於單純範疇，它基於球狀集；基於立方集的範疇也得到了發展；單純範疇最接近的例子是 Ehresmann [Ehresmann，1963] 引入的雙範疇，特別是在共形量子場論[Hu , 2007]、Szabó 的多範疇理論[Garner, 2006] 等領域[Fiore, 2007]、[Grandis, 2020]。 您可以建立一個類別黏合，其中的模型有雙類別。 根據定義 [Fiore, 2007]，雙類別 D 是小類別 Cat 類別中的一個類別物件。 該建設是在 [Tolokonnikov, 2021] 進行的，並證明

*定理*

給定一個雙類別 D，則存在以 D 為模型的類別黏合。

分類黏合的概念涵蓋了基本的代數構造。 讓我們考慮一下這個重要的問題。 代數理論 T 是指具有等式的一階理論，簽名只包含函數字母，稱為 n 元運算。 此外，除了用於運算的字母之外，還有幾個原子公式 s=t（s，t 是項），稱為公理（恆等式）。 許多代數結構在一階形式理論中被公理化。

對於群，我們透過選擇一個二元乘法運算、一個取逆元素的一元運算和一個表示統一的零運算來獲得通常的定義到簽章中。 操作滿足恆等式

$$x\cdot(y\cdot z)=(x\cdot y)\cdot z\,,x\cdot e=x\,,e\cdot x=x\,,x\cdot x^{-1}=e\,,x^{-1}\cdot x=e$$

然而，以等價的方式，群不能由三個定義，而是由一個二元除法運算 x:y 和公理定義

$$(x:y):(y:z)=x:z\,,x:(y:y)=x\,,(x:x):(y:z)=z:y \quad 。$$

並且，如果我們採用二除法 $x*y=x^{-1}\cdot y^{-1}$ ，則該組由它和零元運算決

定： $x\cdot y=(x*e)*(y*e), x^{-1}=x*e$ 。

除了二元運算之外，還可以對任意 n 構造群中的 n 元運算。 當通常透過基本操作和身分來定義群體時，由於各種任務的存在，群體的本質隱藏在特定的定義方式背後。 類似的情況也發生在一般代數的其他結構上。

有一個分類結構可以消除這些問題。

透過將形式語言與集合中群的解釋分開，人們可以提出在集合以外的類別中解釋形式群論的問題。 然而，在其他類別中可能不存在集合（對象）的元素概念的類似物，因此根據[Maltsev，1970]的通常理解的解釋不起作用。 為了解釋，我們可以將自己限制在有作品的類別。 如果在代數系統中變數被翻譯成載體的元素，那麼只需要回答在解釋過程中變數將去往何處的問題，但是當在範疇中解釋時，物件沒有元素。 有一個出路，因為代數中的恆等式可以在不使用元素的情況下表達[McLane, 2004]。 有必要從 Set 中代數理論的形式語言的通常解釋轉向使用類別 C 的箭頭完全可解釋的語言。這個問題在句法類別中得到解決，其中的箭頭是相等術語的等價類別由於理論中可用的恆等式，箭頭的組合以替換的形式表示 該方法基於

*定理*

給定一個代數理論 T 及其句法範疇 $C_T$ ，則以下成立： $C_T$ 是具有有限乘積的範疇； 兩個物件 $(x_1,...,x_m)$ 和 $(x_1,...,x_n)$ 在 $C_T$ 中的分類積由表達式 $(x_1,...,x_{m+n})$ 給出； 具有有限乘積的範疇中理論 T 的每個模型都可以使用乘積保持函子來獲得。

所討論的用箭頭表示對像以及向句法範疇的過渡使得在 Lawvere [Lawvere, 1963] 給出的泛化中考慮代數與整個運算集成為可能。

*定義*

Lover 的代數理論是一個具有有限乘積的小範疇，其中的每個物件都表示為物件 $A, A^1=A, A^n=A\times...\times A$ 的冪，且等式 $A^m\times A^n=A^{n+m}$ 成立。

句法類別 $C_T$ 可以用 Lover 代數理論的形式表示，箭頭和變數一樣，與 $C_T$ 中的相同。關於分類黏合，這些問題在 [Tolokннikov, 2021] 中詳細考慮，其中，特別地，證明了

*定理。*

給定一個代數理論 T 及其句法範疇 C，則存在以 C 為模型的範疇黏合。

這個定理使我們得出結論：通用代數是分類黏合的模型。 類似的定理適用於各種更高的類別 [Grandis，2020]。 因此，範疇黏合涵蓋了範疇論和代數的基本範疇建構。

## *4. 卷積多類別與人工神經網絡*

4.1. 在本節中，我們將提出作者在[Tolokonnikov，2016] 中介紹的基於分類黏合的捲積多類別定義，並考慮以具有冠型捲積的捲積多類別形式表示任意拓

撲的神經網路[ Tolokonnikov ，2016]，[Tolokonnikov，2020(a)]。 我們還將使用卷積多類別的神經元模型擴展到基於拼接的神經元模型，這使得考慮神經元之間以及與其他細胞之間的非尖峰通訊成為可能。 近年來，考慮神經元的非尖峰通訊引起了人們的極大興趣[Kuznetsov，2018]。

*定義*

如果分類黏合恰好具有兩種類型的變數（「輸入」和「輸出」），即類型 $C_iC_j=C_j, i, j=1,2,3,...$ 的投影代數，其中捲積將輸出連接到輸入，並且是指定類別的錐體，則分類黏合稱為卷積多類別。

[Tolokonnikov, 2016, 2017, 2018] 對卷積多類別進行了足夠詳細的研究。讓我們繼續定義神經元及其網路的新黏合模型。

多類別神經元模型由作者[Tolokonnikov, 2016]提出，代表神經元的多箭頭的輸入和輸出模擬了尖峰傳播的路徑。 然而，細胞間通訊比尖峰活動豐富得多。 許多研究發現尖峰活動受到神經元之間其他類型連結的影響。 考慮到這種交互作用的神經元模型已經出現 [Kuznetsov, 2018]。

*定義*

給定一個分類黏合模型，該模型具有兩種選定類型的變數（我們稱之為輸入（in）和輸出（out）），以及 n 種類型的變數（我們稱之為非尖峰通訊通道類型）。 也讓這個模型由來自指示的 $n_{\text{in}}+n_{out}+n$ 類變數的錐體組組成。那麼每個指定的錐體稱為一個神經元，與現有捲積進行分類黏合的模型稱為分類黏合神經網路。

由於黏合包括作為特殊情況的捲積多類別和更高類別，因此考慮到黏合中相應卷積的存在，該定義本質上非常通用，並且具有豐富的工具包，用於對不僅相互作用的神經元之間非常複雜的連接進行建模在尖峰的幫助下。 下一段討論具有捲積多個類別的傳統人工神經網路的建模。

4.2. 神經網路理論中主要的普遍接受的方法之一，即 PDP（平行分散式處理），是由一群科學家、生理學家、心理學家、數學家和電腦科學家於 20 世紀 80 年代開發的，其成員包括諾貝爾獎得主法蘭西斯·克里克.

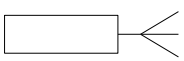
PDP 神經網路模型包含三種類型的元素，神經元或體細胞（一種處理元素，現在是處理器或晶片機）、軸突（訊號傳輸線）和突觸（將軸突訊號轉換的「連接點」轉化為適合體細胞的訊號）。

最簡單形式的 PDP 神經網路形成一個“圖”，其節點為神經元形式，具有以下屬性：

(a) 只有一條線接近每個突觸； (b) 來自不同神經元的線路接近給定神經元上的不同突觸； (c) 傳輸線不分支；它們是普通的圖形弧。

屬性 (c) 取自 [Shirokov, 1990] 第 274 頁，實際上要求神經元有多個輸出，這是錯誤的，不僅因為在文本 [Shirokov, 1990] 中神經元僅產生一個信號，而

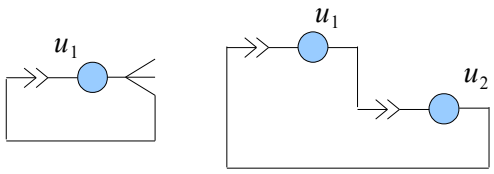
且因為當當一個輸出連接到其他神經元的多個輸入時，活體神經網路最重要的特性就被掩蓋了。 這裡，顯然使用了卷積的變體，這與使用範疇論中已知的組合來連接箭頭的方法不同。 在 [Rumelhart, 1987] 描述 PDP 模型的圖形符號中，點 (c) 旨在替換



在



這失敗了，在下圖中的 [Shirokov, 1990] p. 275 的範例中，分支線再次出現。




在我們的神經元方法中，在這個 PDP 模型中，我們將多箭頭與突觸形式的輸入和線形式的輸出相關聯，就像軸突一樣，它分裂成幾條線，通往其他神經元。

根據定義，圖的概念包括兩個集合：一組頂點和一組頂點對。 通常，神經網路工程師繼續將神經網路視為圖來討論，但是當他們看到神經網路的分支點以及圖的定義（他們同意！）時，這不包含在圖中，他們發現自己處於一個困難的境地：神經網路不是通常意義上的圖，因為它對應於上面的定義。 而（圖中）「移除」神經元中這個分支點的嘗試並非偶然。

神經資訊學的主要現代標準（參見 [Golubev, 2005]）是由計算值的神經元形成的

$$a=f(Wx+b), x=(x_1,\dots,x_k)\in\{0,1\}^k, a\in\{0,1\} \ ,$$
$$W=(w_1,\dots,w_k)^T, w_i, b\in\mathbb{R}, f:\mathbb{R}\to\{0,1\} \ .$$

神經網路中的神經元以這樣的方式相互連接：從一個神經元（軸突）的單一輸出，該連接分支到其他神經元的多個輸入，包括將相同神經元的輸出與輸入連接的情況。 因此，神經元 n 被表示為許多變數 $n:\{0,1\}^k\to\{0,1\}$ 的函數。對於神經網絡，神經元的連接可以根據以下定理透過關聯組合卷積多類別中的捲積進行建模，該定理在[Tolokonnikov，2017] 中得到證明。 將一個輸出分支為多個輸入並形成捲積測謊儀的多箭頭的捲積稱為冠型捲積。

*定理（神經網路建模）*

假設有一個具有神經元 $n:\{0,1\}^k\to\{0,1\}$ 的人工神經網絡，具有多個輸入( $k\in\mathbb{N}$ ) 和一個輸出，每個神經元都有自己的激活函數，信號從集合 b 到達神經元突觸的輸入，集合 b 是一個集合。 神經元連接由現有輸出建立，該輸出分支為有限數量的 線，連接到其他神經元的輸入。 然後，由指定神經元建構的神經網路形成具有一組「皇冠」型捲積的關聯組合卷積多類別。

將神經網路表示為多類別有助於消除神經網路理論中的許多不準確之處。因此，基於多類別的屬性和對偶性概念，我們建構了 [Tolokonnikov, 2021(a)] [Tolokonnikov, 2018(a)]，S. Osovsky 直覺方法的正確方案，該方法在神經網路科學家中很流行[Osovsky ， 2017]用於計算反向傳播方法中使用的偏導數。

### *5. 分類系統作為分類黏合*

系統範疇論是 P.K. Anokhin 功能係統理論形式化的變體。 考慮功能係統理論的基本假設，討論範疇範式，根據 P.K. 的同構和層次結構直觀原理的形式化問題。 Anokhin 可在 [Tolokonnikov, 2017, 2018(a), 2018(b)] 中找到。 個人電腦。 Anokhin 詳盡地批評了 M. Mesarovich 的方法及其變體（這也適用於 S.N. Vasiliev [Matrosov，1980] 的系統方法，該方法概括了許多有關係統數學理論的著作中系統的大部分定義）因為系統的定義中缺乏系統形成因素。 我們將定義包括系統形成因素的表述的分類系統。 通常的類別可以在沒有物件的情況下重新表述，僅使用箭頭語言，考慮單一箭頭而不是物件。 相同的方法可以用於多類別和黏合理論。 為了更清楚起見，我們現在將討論卷積多類別。 如果我們立即記住最高的多重類別，那麼多重射手會將排名較低的多重射手轉移到其他多重射手。 在一般情況下，我們所說的系統是指多箭頭及其組合。

現在我們可以解釋 P.K. 功能係統的分類性質。 安諾基娜。 在集合論範式中，函數與其他事物一樣，被簡化為集合的概念，例如，簡化為實變數的實函數的圖（平面上的一組點）。 正如 [Goldblatt, 1983] 中詳細討論的，這種對函數直觀概念的解釋拋棄了函數的計算、運動和時間特徵方面，而用箭頭對函數進行分類表示似乎部分保留了這部分其直觀的內容。 無論如何，函數和多箭頭的概念包括三個組成部分，如果我們用系統語言來說，那麼這些是一些初始系統、最終系統以及初始系統到最終系統的處理，類似於透過演算法和微積分處理字母表中的單字。 在普通術語中，函數通常被稱為函數的最終組件。 功能係統 P.K. Anokhina 對應於函數的演算法部分，他直觀地在名稱中以「函數式」一詞標註出來。 換句話說，透過研究功能係統，P.K. 可以說，阿諾欣預見了數學中範疇論的出現。 他在系統理論中的主要發現，即分類系統中的系統形成因素，解釋如下。 讓某個系統出現「需求」。 傳入合成對應於形成一個“所需結果”，該結果以另一個系統的描述（動作結果接受器中所需結果的參數）的形式滿足“需要”，以及以卷積的形式必要的子系統，卷積從中建構功能係統本身，包括其演算法組件。 卷積本身被記錄在動作程序中。 因此，由一組適當的子系統卷積所得到的多箭頭，其起點是一個有問題的系統，其完成是所要求的結果，這也是某種系統。 如果我們談論高等哺乳動物或人，無論是在動物的無意識還是意識中，我們都有一種由多箭頭和卷積建模的自然結構，稱為 P.K. 阿諾金功能係統。 接下來，這種具有神經相關性的理想結構顯然是在真實物體上進行測試（解釋、計算）的。 如果功能係統足以滿足需要，

它就達到了其目的。 如果失敗，即如果獲得的結果的參數與動作結果接受器所要求的結果的參數不相符，則重複新的功能係統的生成和應用的循環。 當然，通常可以透過多種方式實現所需的結果，這對應於以不同的方式（演算法）來獲取函數值。

在傳統（直觀）的功能係統理論中，系統形成因素被理解為所要求的結果本身，或滿足需要所需要達到的參數；功能係統通常被定義為系統形成因素（類似於提到的行話，稱其為其價值的函數），有機體的目標，等等。 特別是，定義它們的參數值不同的系統之間沒有區別（結果是相同的系統，但參數值不同，還是不同的系統）。

讓我們總結一下已經說過的內容。 我們所說的簡單系統是指卷積多個類別的多箭頭，它是其組成部分之一。 複合系統是由生成器和其他使用卷積的系統建構的。 系統形成因素是給定係統組成的子系統的捲積（回想一下，子系統卷積時的「歷史」保留在系統中），以及系統的最終組件，如多箭頭。最終組成部分本身在狹義上稱為系統形成因素。 上述內容幾乎完全適用於基於分類黏合定義的系統的情況。

給出兩種分類黏合模型。 與類別[Mac Lane，2013]的情況一樣，公理定義和模型之間的差異可以透過前綴「meta」來強調。 換句話說，可以方便地將其正式定義中的分類黏合稱為元黏合，並將其模型稱為分類黏合。 從一個模型的映射，或者換句話說，從一個模型到另一個模型的分類黏合，如果它保留黏合結構（卷積、投影等），則稱為黏合函子。 這裡我們不研究範疇黏合之間函子的性質，只注意範疇黏合與黏合函子形成一個普通範疇，我們稱之為黏合範疇。

*定義*

讓分類黏合作為正式元黏合的模型。 那麼每組分類黏合錐體就稱為分類系統或簡稱為系統。 如果一個系統以其他系統（稱為原始系統的子系統）的捲積形式呈現，則該系統稱為複合系統。 如果一個系統不被表示為其他系統的捲積，那麼它被稱為簡單系統。 由基本錐體組成的系統稱為物件系統。

根據上述描述，P.K. Anokhin 提出的系統形成因素在分類系統中找到了一個自然模型。

*定義*

讓兩個物件系統以分類黏合方式給出，第一個稱為初始物件系統，第二個稱為初始物件系統的結果，也是分類系統集合 $\{S_\alpha, \alpha \in I\}$ ，I 是索引集，將 endofunctor F 黏合在系統範疇中，並給出卷積 $\Delta$ 。然後，如果卷積適用於變換系統 $\{FS_\alpha, \alpha \in I\}$ 的集合，則對 $(F, \Delta)$ 稱為複合系統 $S = \Delta(\{FS_\alpha\})$ 的系統形成因子，前提是： S 的擦除等式運算給出了一組原始物件系統。

### *6. 還原論與範疇系統*

是否有可能將化學還原為物理，物理理論中是否有對生理定律的解釋，是否有可能從物理學中「推導出來」它們？類似的問題都與還原論問題有關，即還原論問題一種理論到另一種理論。 我們認為，物理（化學、生物等）理論應該表現為物理（化學、生物等）系統的理論。 這與目前公認的系統論是科學中的科學的觀點是一致的（例如，參見[Yi-Lin Forrest，2018]）。 因此，關於將一門科學還原為另一門科學的問題的答案不能在個別科學的層面上解決；這是一個系統論的問題。 也就是說，在系統論中，我們必須決定什麼是物理或化學系統，同時有可能將一種理論的態射建構成另一種理論，並在此基礎上回答有關係統關係的問題，包括包含一種系統在另一種系統中以及一種理論到另一種理論的不可約性。

這個問題在系統範疇論中找到了解決方案。

為了確定性，我們現在將自己限制在一階語言；除了經典邏輯之外，基於其他邏輯或微積分的許多概括在原理上都是相似的。

給出分類黏合的正式理論；我們將直接依賴函數和謂詞符號而不使用卷積的簡單、基本（非複合）系統稱為黏合（簡單系統的完整黏合具有空的外部卷積和空的內部）黏合和卷積）。 例如，在力學中的質點系統的情況下，質點本身對應於類別系統中的簡單系統。 這裡我們涉及解釋形式理論的問題，比較某些對象的理論變量，特別是質點形式的系統。 讓我們注意到，即使變數的解釋問題已經解決，簡單的解釋系統本身還不能確定在它們之上進一步建立什麼理論（系統）（物理的、化學的等）。 P.K. Anokhin 認為，簡單系統具有許多“自由度”，必須使用系統形成因素的資源來限制複合系統的“自由度”系統形成因素的資源定義為複合系統必須實現的結果。 因此，形成可能運動混亂的簡單系統的所有可能的運動變體（變化等）都被系統形成因素精確地排序，迫使作為複合系統一部分的簡單系統完全演化。有序的，而不是任意（混亂）的方式。 力學（經典或量子；在量子場論或標準模型中，不考慮粒子，而是考慮場）中質點系統的系統形成因子是最小作用原理。 由此導出運動方程式（哈密爾頓、薛定諤），這些方程式透過每個粒子作為 N 個物質點的複合系統內的簡單系統的演化來滿足。

最小作用原理對於經典力學和量子力學，即經典質點系統和量子質點系統有不同的表達，因此這些系統雖然具有相同的簡單子系統，但它們是不同的。經典力學與量子力學關係問題的最終解決是在系統考慮這兩個不同範疇系統的框架內進行的。

由於系統的概念包括系統形成因素，並且在上述兩種力學中，最小作用原理足以構建它們，因此稱為量子力學或 N 個物質點的經典力學的物理理論（物理系統理論）範疇系統理論的框架可以精確地定義為 N 個質點形式的簡單系統

和最小作用原理形式的系統形成因素的範疇黏合。 概括物理理論的這個例子，我們將物理理論定義為物理系統的理論。

定義

物理系統是一種模型，它透過形式分類與最小作用原理形式的系統形成因素結合來描述主題領域。

為了明確物理理論，需要明確泛函和謂詞黏合符號的集合，並選擇形式黏合的變數和箭頭的解釋對象。

化學系統被區分為具有另一個系統形成因素的系統，但要求不違反最小作用原理，就像在量子化學中一樣。 在這種情況下，化學理論（例如，根據 Bader [Bader，2001]在他的「分子中的原子」方法中的說法）對應於粒子量子力學的系統形成因素，並被簡化為物理學，可以說更確切地說。 然而，在化學中，使用了許多近似值，例如，烴系統僅限於考慮化學式中由原子名稱之間的片段表示的共價鍵。 在分類化學的框架內 [Tolokonnikov, 2021(a,b)]，我們可以提出哪個系統形成因子對應於此類碳氫化合物系統的問題，因為不滿足這種近似的薛定諤方程，並且系統形成因子量子力學的最小作用原理的形式不起作用。 然而，存在碳氫化合物系統的理論，它們不能還原為量子力學，量子力學可以被證明為嚴格的數學事實，而不是進入還原論的一般哲學推理。

正如代數理論是在不同的類別中建立的，而不僅僅是在集合中，我們可以談論物理理論的宇宙，並且已經在這個宇宙中建立了功能係統的理論，因為沒有人承諾取消有機體的物理定律，但是功能係統的系統形成因素有其自身的生理規律，因此一般來說不能還原為物理規律。

有機體的模型通常是遵循量子力學的物質點（原子、由原子組成的分子等）系統。 我們透過以最小作用原理的形式與系統形成因素進行分類黏合來對後者進行建模。 我們考慮這種量子力學系統的宇宙。 就像代數理論在集合以外的各種類別中進行解釋一樣，我們根據 K.V. 解釋了有機體的分類函數系統及其係統量子動力學中的系統形成因素。 物理系統宇宙中的蘇達科夫。 這樣的模型提供了用來描述身體功能和物理系統的特性和相互作用的工具。

一種更直接的方法是考慮具有複合系統形成因素的生物力學系統，其生物成分包括生存原理。 高等哺乳動物和人類具有相似的生物力學系統。 事實上它們明顯的機械部分是生物體的骨骼、肌肉、液體介質，遵循基於靜止作用原理的理論力學和連續介質力學的第一個近似定律。 然而，生物體的有目的運動遠遠不能直接由機械系統建模；這裡的關鍵特徵是內部過程控制運動機制。這裡我們面臨的是帶有伺服約束的力學，它是由 Begen [Begen，1967] 提出的，並由 V.V. 院士在我國發展起來。 科茲洛夫和他的同事[科茲洛夫，2015]。 然而，在這些研究中，機械系統是外在控制的。 很明顯，以具有伺服連接的力學形式，我們在描述生物力學系統的運動方面邁出了重要的一步，這需要研究

具有複合系統形成因素的系統，除了靜止作用原理之外，還包括生存原理，可能還有其他使生物體發揮作用的生物成分，包括控制其機械部件的移動。 類似的方法也適用於人工智慧和強人工智慧，這在大會上進行了詳細討論。

### *7、結論*

最後，讓我們簡要總結一下我們的考慮。 本書致力於作者解決描述可能的物理理論的持續問題的方法，該問題已逐漸發展為將分類系統分類為卷積多類別和分類粘合理論的數學對象的問題。 開始於尋找哈密頓力學可觀測量的可能代數的工作導致了代數理論中的函數方程方法，在該方法的幫助下，除了提出具有處處稠密的多項式可觀測量集的新可觀測量代數之外，解決了 Baker-Campbell-Hausdorff 級數求和的相關問題，找到了一些非半簡單李代數的 Yang 方程的通解-Baxter，費曼積分的計算簡化為求解函數方程，以及平移的分類-得到不變的喬丹代數、二元李等代數。 對觀察到的各種物理理論的代數之間關係的研究需要在系統論的框架中考慮它們，作為某些物理系統的理論。 系統方法自然是在範疇論的基礎上進行的，必須結合 A. Abramsky 發現的範疇量子力學來解決這個問題 [Abramsky, 2009]。 然而，最先進、最有效的系統理論，即 P.K. 的功能係統理論的形式化。 Anokhin 要求發展卷積多類別和類別黏合理論，該理論的開端在該工作中得到了考慮。 因此，我們的任務是在這些範疇理論的框架中對範疇系統進行分類。 然而，在作者開發的方法中必須處理的相當抽象的數學對象仍然是需要的，例如，在傳統的人工神經網路理論以及具有直接實際應用的生物機器系統理論中。

***Литература*** ***References*** ***參考書目***


Беген А. Теория гироскопических компасов Аншютца и Сперри и общая теория систем с серво-связями. Москва: Наука, 1967, 171 с.

Бейдер Р. Атомы в молекулах. Квантовая теория, М., Мир, 2001, 532 с.

Васюков В.Л. Логический плюрализм и неклассическая теория категорий, Логические исследования. Вып. 18. М.-СПб., 2012. С.60-76.

Голубев Ю.Ф. Нейронные сети в мехатронике, Фунд. и прикл. Математика, 2005, Т. 11, № 8, С. 81-103.

Жевлаков К.А., Слинько А.М., Шестаков И.П., Ширшов А.И. Кольца, близкие к ассоциативным, М., Наука, 1978.

Козлов В.В. Динамика систем с неинтегрируемыми связями. I—V, Вестн. Моск. ун-та. Матем. Механ. 1982. № 3. 92 - 100; 1982. № 4, 70-76 ; 1983. № 3. 102—111; 1987. № 5. 76—83; 1988. № 6. 51—54.

Козлов В.В. Принципы динамики и сервосвязи, Нелинейная динам., 2015, Т. 11, № 1, С. 169–178.

Кузнецов О.П., Базенков Н.И., Болдышев Б.А., Жилякова Л.Ю., Куливец С.Г, Чистопольский И.А. Асинхронная дискретная модель химических взаимодействий в простых нейронных системах, Искусственный интеллект и принятие решений. 2018, № 2, С. 3-20.

Матросов В.М., Анапольский Л.Ю., Васильев С.Н. Метод сравнения в математической

теории систем, Новосибирск, Наука, 1980. 480 с.

Мальцев А.И. Об алгебрах с тождественными определяющими соотношениями, Матем. Сб., 26, №1, 1950, С.19-33.

Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. М., Горячая Линия-Телеком, 2017, 448 с.

Пенроуз Р. Новый ум короля, М., Едиториал УРСС, 2003, 339 с.

Сидоров А.В. Эволюция межклеточной коммуникации и структурная организация мозга, Журнал эволюционной биохимии и физиологии, 2012, т. 48, № 4, С. 323-328.

Толоконников Г.К. «Об ассоциативных гамильтоновых алгебрах», ТМФ. 1977. Т.31. №2. С. 250-255.

Толоконников Г.К. О классификации алгебр функций, близких к ассоциативным, с помощью метода функциональных уравнений, Матем. заметки, Т. 39, № 6, 1986, С. 806–818.

Толоконников Г.К. Функциональные уравнения, интеграл Фейнмана и универсальные обертывающие алгебры Ли, Изв. вузов. Матем., 1987, № 1, 79–82.

Толоконников Г.К. Метод функциональных уравнений в теории алгебр, Алгебра и логика. 1988. Т. 27. № 1. С. 57-78.

Толоконников Г.К. (a) Математические основы теории биомашсистем. В кн. Биомашсистемы. Теория и приложения, Том 1, М., Росинформагротех, 2016, С. 31-213.

Толоконников Г.К. (b) Математическая категорная теория систем. В кн. Биомашсистемы. Теория и приложения, Том 2, М., Росинформагротех, 2016, С. 22-114.

Толоконников Г.К. Манифест: нейрографы, нейрокатегории и категорные склейки, Биомашсистемы, Т. 1, № 1, 2017, С. 59-146.

Толоконников Г.К. (a) Категорные модели искусственных нейронных сетей и системной информации, категорные склейки и парадигма категорной теории систем, Биомашсистемы, т.2, №1, 2018, С. 127-174.

Толоконников Г.К. (b) Неформальная категорная теория систем // Биомашсистемы т.2, №4, 2018, С.41-144.

Толоконников Г.К. (c) Вопросы классификации функциональных и других видов систем при их моделировании свёрточными поликатегориями», Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2018, №6, стр.8-18.

Толоконников Г.К. Категорные склейки, категорные системы и их приложения в алгебраической биологии. Биомашсистемы, т.5, №1, 2021, С. 148-235.

Широков Ю.М. Аксиоматика гамильтоновых теорий общего вида, включающих классическую и квантовую как частные случаи, ТМФ, Т. 25, № 3 1975, С. 307–312.

Широков Ф.В. На пути к нейрокомпьютерам. Физические и математические модели нейронных сетей. М., ВИНИТИ, 1990, С. 229-315.

Abramsky S., Coecke B. Categorical quantum mechanics, Handbook of Quantum Logic and Quantum Structures: Quantum Logic. ELSVIER. North-Holland. 2009, P. 261-324.

Anastassiou C.A. and others, Ephaptic coupling of cortical neurons, Nature neuroscience, 2011, no.1, P. 1-8.

Burroni A. T-cat´egories (cat´egories dans un triple). Cahiers Topologie G´eom. Diff ´erentielle, 12, 1971, 215–321.

Ehresmann C. Catégories structurées. Ann. Sci. École Norm. Sup. (3), 80, 1963, P. 349–426.

Fiore T.M. Pseudo algebras and pseudo double categories, Journ. Homotopy and Related Struct., vol. 2(2), 2007, P. 119–170.

Garner R. Polycategories via pseudo-distributive laws, Adv. Math. 218, 2008, no. 3, P. 781-827.

Garner R. Double clubs. Cahiers Topologie G´eom. Diff´erentielle, 47(4), 2006, P. 261–317.

Grandis M. Higher dimensional categories: from double to multiple categories, Издательство: World Scientific Publishing, 2020, 536 p.

Graves D. Props for involutive monoids and involutive bimonoids, Theory and Applications of Categories, Vol. 35, No. 42, 2020, P. 1564-1575.

Hatcher W.S. The logical foundations of mathematics, Perg.Pr., 1982, 320 p.

Hermida C. Representable multicategories. Adv. Math., 151(2), 2000, P. 164–225.

Hu P., Kriz I. Conformal field theory and elliptic cohomology, Adv. Math. 189, no. 2, 2004, P. 325–412.

Koslowski J. A monadic approach to polycategories, Theory and Applications of Categories, Vol. 14, No. 7, 2005, P. 125-156.

Leinster L. Higher operads, higher categories, volume 298 of London Mathematical Society Lecture Note Series. Cambridge University Press, Cambridge, 2004.

Lawvere F.V. Functorial semantics of algebraic theories, Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1963, v. 50, P. 869-872.

Mac Lane S. Categorical algebra, Bull. Amer. Math. Soc. 1965, v.71, P. 40-106.

Mac Lane S. Categories for the Working Mathematician, Springer, Berlin, 2013.

Nambu Y. Generalized Hamiltonian Dynamics, Phys. Rev. D 7, 2405, 1973.

Rumelhart D.E., McClelland J.L. Parallel distributed processing. Explorations in the Microstructure of Cognition, vol.1, Foundations, MIT Press, 1987, XX, 547 pp.

Shulman M. The 2-Chu-Dialectica construction and the polycategory of multivariable adjunctions, Theory and Applications of Categories, Vol. 35, No. 4, 2020, P. 89-136.

Tolokonnikov G. K. (a) The use of convolutional polycategories in problems of artificial intelligence, Advances in Intelligent Systems and Computing, Volume 1126, 2020, pp. 23-32.

Tolokonnikov G.K. (b) Convolution Polycategories and Categorical Splices for Modeling Neural Networks. Advances in Intelligent Systems and Computing, Volume 938, 2020, pp. 259-267.

Tolokonnikov G.K. (a) Modelling Biomolecular Structures in Categorical Systems Theory, EPJ Web of Conferences, vol. 248, 01015 (2021) pp.1-6.

Tolokonnikov G.K. (b) Category splices and modeling with their help chemical systems and biomolecules, Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 1403, 2021, pp. 203-212,

Yi-Lin Forrest J. General Systems Theory. Foundation, Intuition and Applications in Business Decision Making, IFSR International Series in Systems Science and Systems Engineering, V. 32, Springer, 2018, 370 p.

DOI 10.18699/sblai2023-41
УДК 004.82

# *Задачный подход: на пути к доверительному искусственному интеллекту*
# *Task approach: on the way to trusting artificial intelligence*
# 任务方法：走向可信人工智能的途径

Е.Е.Витяев Е.Е.,
д.ф.-м.н., Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН,
Новосибирск, Россия.
Vityaev E.E.,
Dr. sci. Sobolev institute of mathematics,
Novosibirsk, Russia, *vityaev@math.nsc.ru*

Гончаров С.С.,
академик РАН, д.ф.-м.н., Институт математики
им. С.Л. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия.
Goncharov S.S.,
Academician RAS, Dr. sci. Sobolev institute of mathematics,
Novosibirsk, Russia, *s.s.goncharov@math.nsc.ru*

Гумиров В.Ш.,
Eyeline Group, Новосибирск, Россия
Gumirov V.S.,
Eyeline Group, Novosibirsk, Russia

Манцивода А.В.
*д.ф.-м.н., Иркутский государственный университет,*
*Иркутск, Россия*
Mantsivoda A.V.
Dr. sci., Irkutsk State University,
Irkutsk, Russia, *andrei@baikal.ru*

Нечесов А.В.
к.ф.-м.н., Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН,
Новосибирск, Россия.
Nechesov A.V.
Ph.d, Sobolev institute of mathematics,
Novosibirsk, Russia, *fxcom@yandex.ru*

Свириденко Д.И.
д.ф.-м.н., Новосибирский Государственный Университет,
Новосибирск, Россия.

Sviridenko D.I.
Dr. sci., Novosibirsk State University,
Novosibirsk, Russia, *dsviridenko47@gmail.com*

***Аннотация.*** В данной работе авторы представляют свою оригинальную концепцию объяснимого и доверительного искусственного интеллекта (ДИИ), основу которой составляет задачный поход к искусственному интеллекту. Цель настоящей работы – показать, что задачный подход к ИИ, обобщает и развивает такие известные подходы, как агентный подход к ИИ и общий искусственный интеллект (AGI). Кроме того, в отличии от AGI, он является антропоморфным, поскольку, в том числе, формализует физиологическую Теорию Функциональных Систем (ТФС) работы мозга [15-20], описывающую целенаправленную деятельность человека.

С целью эффективной практической реализации задачного подхода в работе представлены варианты языков исполнимых спецификаций задач, которые позволяют по объяснительной и интерпретирумой спецификации задач генерировать их исполнимый код, приводящий к решениям. Спецификации задач, относящиеся к некоторой предметной области, по которым формируется соответствующий запрос к предметной области, поиск ответа на запрос и получение решения (ответа на запрос) осуществляется в рамках разработанного и представленного в работе семантического моделирования.

Используя различные языки спецификаций, разработано и представлено несколько платформ решения прикладных задач, которые, вместе с примерами решенных задач представлены в заключении работы.

***Ключевые слова:*** искусственный интеллект, задачный подход, проблема доверия,

***Abstract.*** In this paper, the authors present their original concept of explainable and trustworthy artificial intelligence (AI), which is based on a task approach to artificial intelligence. The purpose of this work is to show that the task approach to AI generalizes and develops such well-known approaches as the agent-based approach to AI and artificial general intelligence (AGI). In addition, unlike AGI, it is anthropomorphic, since, it formalizes the physiological Theory of Functional Systems (FTS) of brain function [15-20], which describes purposeful human activity.

For the purpose of effective practical implementation of the task approach, the work presents variants of executable task specification languages that allow, based on the explanatory and interpretable specification of tasks, to generate their executable code leading to solutions. Specifications of tasks related to a certain subject area, for which a corresponding query to the subject area is generated, the search for an answer to the query and obtaining a solution (answer to the query) is carried out within the framework of the semantic modeling developed and presented in the work.

Using various specification languages, several platforms for solving applied problems have been developed and presented, which, together with examples of solved problems, are presented in the conclusion of the work.

***Keywords:*** artificial intelligence, task approach, problem of trust.

**摘要：**本文介绍基于任务方法的可解释、可信人工智能的基本概念，目的是阐述人工智能的任务方法可以概括和开发其它著名的诸如基于智能体智能和通用人工智能方法。此外，不同于通用人工智能(AGI)，任务方法是拟人化的方法，因为它将脑功能的生理功能系统理论形式化[15-20]，用于描述目的性

人类活动。

为了在实践中有效实施任务方法，本文介绍几种可执行的任务描述语言，通过这些语言对任务的描述和解释，可以生成解决问题的可执行代码。任务的描述与特定的应用领域有关，完成这些任务需要先产生面向应用领域的查询，再执行查询搜索答案，最后得到问题的解。这些操作在本项目研发的一个语义建模框架内完成。

本文介绍用不同任务描述语言开发的解决应用问题的几个平台和解决问题的实例，并给出本项工作的结论。

**关键词：**人工智能，任务方法，可信问题

## *1. Введение*

После событий, связанных с «революцией ChatGPT» и открывших миру не только новые блестящие перспективы и возможности искусственного интеллекта (ИИ), но и новые риски и опасности его применения, могущих привести к неконтролируемым последствиям, тема ИИ стала чрезвычайно модной и популярной, активно обсуждаемой не только среди специалистов и профессионалов, но и в других кругах, в том числе и в правительственных. И одной из центральных проблем, обсуждаемых в связи с таким бурным развитием событий, стала проблема ***доверия*** к системам ИИ, фактически означающей признание обществом того факта, что современные системы искусственного интеллекта не могут гарантировать правильность предлагаемых ими решений задач. Т.е. признается, что эти решения могут быть ложными, ошибочными, некорректными, неточными, специально вводящими в заблуждение и т.п.

Проблема доверия к ИИ — это комплексная проблема, представляющая собой целый «клубок» проблем, препятствующих доверию человека алгоритмам ИИ. В настоящей работе будут затронуты только некоторые из этих проблем, а именно проблема «черного ящика», проблема централизации и проблема аудита, поскольку по мнению авторов решение этих проблем способно существенно повысить доверие людей к ИИ-системам.

Напомним, что ***проблема «черного ящика»*** означает то обстоятельство, что некоторые ИИ-системы, выдавая результат решения задачи, никак не объясняют его. Более того, чаще всего предъявляемой такой ИИ-системой результат либо не может быть проверен конечным пользователем вообще ни при каких условиях, либо сложность проверки результата требует огромных ресурсов и умственных затрат. И еще одно замечание, связанной с проблемой «черный ящик». Дело в том, что для полного решения обсуждаемой проблемы недостаточно придать прозрачность механизму формирования результатов ИИ-системами. Следует одновременно постараться поднять и уровень компетенций

пользователей этих систем. Ведь высокий спрос на услуги ИИ-систем поддерживается именно пользователями, которые зачастую не особо обращают внимание на проблему «черного ящика». Более того, даже если алгоритмы той же нейронной сети будут прозрачными и формирование результата будет «объяснено» некоторой специальной дополнительной программой, то далеко не факт, что предъявленное обоснование будет убедительно и понятно обычному, не искушенному пользователю. Особенно это относится к искусственным нейронным сетям с миллиардами параметров, с их огромным числом весовых коэффициентов и функций активации. Представляется, что здесь необходимо задействовать логику и логические правила, которые бы выглядели не только убедительно и правдиво, но и могли бы объяснить человеку -- из каких соображений был сформирован результат.

Другой острой проблемой современного ИИ является так называемая ***проблема централизации,*** означающая появление тенденции сосредоточения власти и контроля над ИИ в руках небольшого числа юридических лиц, что может негативно сказаться на развитии и инновациях в этой области. Более того, централизованный контроль за системами вида ChatGPT может привести к таким некорректным настройкам системы, которые могут повлечь за собой очень серьезные последствия и причинить вред как конечному пользователю системы, так и человечеству в целом. Для решения этой проблемы предлагается воспользоваться опытом применения *децентрализованных решений*. Примером может служить применение блокчейна в сфере криптовалют. Самой стабильной компьютерной сетью в мире является на сегодня сеть блокчейна Биткоина, которая стабильно функционирует с 3 января 2009 года. В принципе, блокчейны, как базы данных для хранения информации, вполне могут оказаться пригодными и для ИИ-решений. При этом, чтобы избежать известной *блокчейн-триллемы* [1], можно использовать *мультиблокчейны.* Напомним, что первые мультиблокчейны были анонсированы еще в 2017 году братьями Николаем и Павлом Дуровыми в их «Белой бумаге» для проекта TON [2]. Оказалось, что именно на различных уровнях мультиблокчейнов можно достигать необходимые показатели для масштабируемости, безопасности и децентрализации. Сами же ИИ-алгоритмы могут рассматриваться как *умные контракты*, которые исполняются на блокчейн-подструктурах мультиблокчейна, что обеспечивает защищенность, корректность и прозрачность всех операций, обучающих выборок и принятия решений.

Кроме проблем «черного ящика» и централизации для современной ИИ все более актуальной становится ***проблема ИИ-аудита***, заключающаяся в том, что даже имея доступ к алгоритмам ИИ, мы не всегда можем проверить, как принимает решения система ИИ, базирующаяся на обучении на больших массивах данных. Понятно, что для компетентного анализа таких программных решений понадобятся высоко профессиональные специалисты, которых, как

правило, не хватает и которых надо специально обучать.

В связи с указанными выше проблемами возникает опасность, что система ИИ может принимать решения, которые или непонятны пользователю, или просто не обоснованы. Именно по этой причине и возник ***объяснительный искусственный интеллект*** *(XAI),* требующий от ИИ-систем прозрачности и объяснимости всех выдаваемых ими результатов. Такое требование многие страны в настоящее время пытаются облечь в правовую форму. Так, например, в сентябре 2021 года Национальный институт стандартов и технологий США утвердил 4 принципа объяснительного искусственного интеллекта [3]:

● *Объяснение***:** ИИ должен предоставлять объяснение, которое при необходимости можно детализировать.

● *Осмысленность***:** объяснение ИИ должно быть понятно пользователю.

● *Точность***:** объяснение ИИ должно согласовываться с алгоритмами системы

● *Границы:* ИИ не должен выходить за рамки своих ограничений.

Эти принципы были учтены и китайским правительством и уже в апреле 2023 года Пекин взял курс на XAI [4]. Китай автоматически наложил ограничения на ИИ-разработки всех своих ИИ-компаний. Теперь компании разработчики будет нести ответственность за свои ИИ-решения (в том числе и за действия чат-ботов) если:

● первоначальные источники данных не легитимны.

● за результаты выдачи, которые могут принести вред пользователю системы или вводят его в заблуждение.

● за контент, который нарушал бы основные принципы социалистической партии.

● за призывы к свержению режима или действия, порочащие партию.

В России еще в 2021 году был принят национальный стандарт российской федерации по доверительному искусственному интеллекту (ГОСТ Р 59276-2020) [5]: «Системы искусственного интеллекта: способы обеспечения доверия», в котором приведена классификация факторов, влияющих на качество и способность ИИ-систем вызывать доверие на стадиях жизненного цикла. И одним из основных пунктов этого документа выступает объяснимость искусственного интеллекта. Данный стандарт распространяется только на ИИ-системы, обеспечивающий решение только конкретных практических задач и не может быть использован для систем «сильного» или «общего» ИИ.

Учитывая столь огромный интерес к проблеме доверительности и объяснительности ИИ, авторы настоящей работы представляют общественности свою оригинальную концепцию построения ***доверительного искусственного интеллекта (ДИИ),*** основу которой составляет ***задачный поход*** к искусственному интеллекту [7-12], обобщающий в определенной степени такие известные и популярные подходы, как *агентный подход* и *общий*

*искусственный интеллект* (AGI).

Заметим, что успехи и популярность ***агентного подхода*,** изложенного в монографии [13], во-многом обязаны удачно выбранной системе понятий, включающей различные виды «агентов» и «внешней среды». Различные задачи искусственного интеллекта рассматриваются в этом подходе как задачи взаимодействия «агента» со «средой», что позволило его авторам осуществить детальную классификацию агентов, сред и, что принципиально важно, решаемых ими *задач*. Тем самым, агентный подход фактически следует задачному подходу, но только без явного определения решаемых агентами задач и указания всех присущих понятию «задача» компонент.

***Общий искусственный интеллект*** (Artificial General Intelligence, AGI), обзор которого приведен в [14], показал, что моделирование когнитивных процессов человека не является обязательным условием решения интеллектуальных задач. Поэтому AGI отражает тот факт, что искусственным интеллектом в той или иной степени может обладать, как человек или живой организм с высокоразвитой центральной нервной системой, так и абстрактная робототехническая система. Ведущие разработчики AGI (Бен Гёрцел, Шейн Легге, Пей Ванг) дают следующее определение AGI: «это способность решать *когнитивные задачи* в целом, действуя целенаправленно, адаптируясь к условиям среды через обучение, минимизируя риски и оптимизируя потери на достижение своих целей» [14].

Цель настоящей работы – показать, что задачный подход к ИИ, обобщая и развивая упомянутые выше подходы, и при этом являясь по своей сути ***антропоморфным*,** поскольку, опираясь на *Теорию Функциональных Систем* (ТФС) работы мозга [15-20], позволяет адекватно моделировать когнитивную целенаправленную деятельность человека, способен стать концептуальной основой доверительного ИИ и соответствующего ему инструментария.

## 2. *Задачный подход и его математическая теория*

### 2.1. *Задачный подход*

Первые попытки придать понятию «задача» точный смысл были предприняты академиком А.Н.Колмогоровым еще в 30-е годы прошлого столетия, который использовал понятие задачи для описания математической семантики интуиционистского исчисления высказываний [21]. Большой вклад в становление задачного подхода применительно к решению задач, связанных с созданием и развитием технических систем, внесла также и эмпирическая Теория Решения Изобретательских Задач (ТРИЗ) [22]. Однако наиболее обоснованное, систематическое и детальное описание концепции задачного подхода было осуществлено академиком Ю.Л.Ершовым и д.ф.н. К.Ф.Самохваловым применительно к проблемам оснований математики [7-8].

**2.1.1.** ***Задачный подход к основаниям математики и ИИ.*** Анализ понятия задачи применительно к основаниям математики начинается со следующих простых рассуждений, сформулированных К.Ф. Самохваловым: «Я хочу пить» – что это значит? Нет, конечно, никакой ошибки полагать, что слова «я хочу пить» означают просто вот это, где это – определенное состояние сознания, которое я переживаю сейчас и которое я именую жаждой. Но тогда возникает новый вопрос: как ощущение жажды (хотения) связано с фактическим питьем (удовлетворением хотения)? Откуда я знаю, что удовлетворить жажду можно питьем? Содержится ли в самом переживании жажды сознание того, чем эту жажду можно удовлетворить? … Знать желание не означает знать желаемое, а означает способность узнать желаемое», т.е. иметь критерий удовлетворения желания.

Таким образом, задача определена (осмыслена) тогда и только тогда, когда у нас есть *критерий решенности задачи* – критерий проверки того, что действительно ли предъявленное решение является решением задачи. В математических теориях таким критерием считается наличие *доказательства* решения задачи. Но этот критерий применим только тогда, когда в рамках самой формальной системы мы имеем как доказательство решения задачи, так и возможность убедиться средствами самой же системы, что данное доказательство действительно является решением задачи. В [7-8] было доказано, что только в «слабых» формальных системах (для которых не проходит теорема Гёделя) мы можем средствами самой формальной системы определить, является ли некоторый текст доказательством решения задачи или нет.

В результате программа Гильберта обоснования математики должна быть переформулирована следующим образом: не нужно для всей математики доказывать её непротиворечивость, как это было провозглашено в исходной программе Гильберта – это невозможно и ненужно. Надо формулировать и решать задачи в рамках и средствами соответствующих слабых формальных систем.

**2.1.2.** ***Понятие «задача» в искусственном интеллекте.*** Определим теперь понятие «задача», ставя своей целью рассмотрение максимально широкого круга задач, что характерно для такого направления, как ***искусственный интеллект.*** Приведем сначала неформальное определение.

Задача определена в том и только в том случае, когда в ее формулировке присутствуют:

- указание предметной области, зафиксированные в виде некой формальной модели, включая описание сигнатуры и структуры языка (онтологии), а также знания о предметной области, включая исходные данные, факты и гипотезы;
- на какой запрос (вопрос), сформулированный в задаче к предметной

области, мы должны получить ответ (решение задачи);

- критерий удовлетворения запроса – в каком случае можно считать, что ответ (решение) на запрос (вопрос) получен;

- в каком контексте следует искать ответ (решение) на запрос (вопрос) – какую цель мы преследуем, решая задачу, т.е. что мы ожидаем от полученного результата и каковы его последствия и что делать, если ответ окажется отрицательным.

Предлагаемый задачный подход предполагает, что истинное назначение искусственного интеллекта состоит в автоматизации решения задач, предполагая, что задачи формулируются в терминах исполнимых (декларативных) спецификаций, рассмотренных далее. Кроме того, введенное нами понятие задача, в отличии от AGI, как мы покажем далее, адекватно моделирует целенаправленную деятельность человека и животных в соответствии с ТФС.

**2.1.3.** ***Понятие «задача» в когнитивных науках***. Обобщением понятия задача в когнитивных науках является понятие ***Цели*** [15-16,20]. Цель нельзя достичь, не имея критерия её достижения, иначе всегда можно считать, что она уже достигнута. Поэтому формулировка Цели всегда должна включать критерий достижения цели. Достижение Цели дает определенный ***Результат***.

Единственной физиологической теорией, в которой достижение Цели и получение Результата рассматривается как решение мозгом задачи по удовлетворению некоторой потребности, является ***Теория Функциональных Систем*** П.К Анохина [15-20]. Эта теория также выявляет физиологические механизмы достижения цели и решения этой задачи мозгом. П.К. Анохин писал: «Пожалуй, одним из самых драматических моментов в истории изучения мозга как интегративного образования является фиксация внимания на самом действии, а не на его результатах … мы можем считать, что результатом «хватательного рефлекса» будет не само хватание как действие, а та совокупность афферентных раздражений, которая соответствует признакам «схваченного» предмета». «Совокупность афферентных раздражений» и есть критерий достижения цели в ТФС. Целью в ТФС является удовлетворение некоторой потребности: «Каждая потребность, даже при незначительном отклонении жизненно важной функции от оптимального для метаболизма уровня (в чём и проявляется потребность), немедленно воспринимается специальными рецепторными аппаратами» (критерием достижения цели).

Согласно П.К.Анохину, центральные механизмы функциональных систем, обеспечивающих целенаправленные поведенческие акты, имеют однотипную архитектуру.

**2.1.2.1.** ***Афферентный синтез***. Начальную стадию поведенческого акта любой степени сложности составляет афферентный синтез, включающий в себя синтез мотивационного возбуждения, памяти, обстановочной и пусковой

афферентации.

***Мотивационное возбуждение***. Постановка цели осуществляется возникшей потребностью, которая трансформируется в мотивационное возбуждение.

***Память***. Мотивационное возбуждение «извлекает из памяти» все возможные способы достижения цели, а также всю последовательность и иерархию результатов, которые должны быть получены для достижения цели некоторым конкретным способом.

***Обстановочная афферентация***. При достижении цели, фиксируется и та обстановка, в которой удалось получить результат. Эта обстановка фиксируется как необходимые условия наряду с мотивацией требуемые для достижения результата. Поэтому мотивационное возбуждение в данной обстановке «извлекает из памяти» только те способы достижения цели, которые возможны в данной обстановке. Таким образом, обстановочная афферентация, при взаимодействии с извлеченным из памяти опытом, определяет, что и как можно сделать в данной обстановке для достижения цели.

***Пусковая афферентация***. Пусковая афферентация также является обстановочной афферентацией, только связанной со временем и местом достижения результата. Пусковая афферентация отвечает на вопрос, где и когда можно достичь результат.

**2.1.2.2.** ***Принятие решений***. На стадии афферентного синтеза мотивационным возбуждением может быть извлечено из памяти (в данной обстановке) несколько способов достижения цели. На стадии принятия решения выбирается только один из этих способов – конкретный план действий. «Вытягивая» из памяти весь накопленный опыт, мотивационное возбуждение преобразуется в конкретную цель, определяющую способ своего достижения. Конкретная цель называется в ТФС «высшей мотивацией».

**2.1.2.3.** ***Акцептор результатов действия***. Мотивационное возбуждение «извлекает из памяти» также всю последовательность и иерархию результатов, которые должны быть получены для выполнения плана действий. Эта последовательность называется в ТФС акцептором результатов действия. Акцептор результатов действия представляет собой доминирующую потребность (Цель) организма, трансформированную в форме опережающего возбуждения мозга, как бы в своеобразный комплексный рецептор будущего подкрепления, являющийся критерием достижения конкретной цели.

**2.1.2.4.** ***Подкрепление. Санкционирующая стадия*.** Если в результате выполнения конкретного плана действий цель будет достигнута (потребность удовлетворена) и все результаты акцептора результатов действия получены, то возникает последняя санкционирующая стадия, в которой осуществляется удовлетворение потребности и занесение выполненного конкретного плана действий в память.

**2.1.2.5.** ***Формальная модель функциональных систем*****.** Основываясь на работах [16-17,20,23] по формализации функциональных систем, была разработана формальная модель, суммирующая основные свойства функциональных систем:

1. использует формальную модель нейрона, обнаруживающую причинные связи и основанную на семантическом вероятностном выводе;

2. осуществляет постановку цели в целенаправленном поведении, формирует функциональную систему и акцептор результатов действия, которые непрерывно сверяют достигнутые результаты с ожидаемыми в акцепторе результатов действия;

3. автоматически формирует подцели и подкрепляет достижение подцелей, если их достижение увеличивает вероятность достижения конечной цели;

4. моделирует сенсорные коррекции;

5. выбирает действие в реальном режиме времени с учетом текущей ситуации и получаемой афферентации;

6. планирует достижение цели в соответствии с последовательностью и иерархией функциональных систем по достижению всех результатов, требуемых для достижения конечной цели;

7. принимает решение об определенном способе достижения цели.

Проведенные эксперименты показывают «естественность» и эффективность поведения полученных аниматов.

Данная модель успешно применялась для моделирования аниматов [20,23-25].

## 2.2. *Математическая теория задачного подхода - семантическое моделирование*

Перейдем теперь к формальным определениям. Определим язык спецификаций задач, опираясь на логико-математическую теорию задачного подхода - семантическое моделирование. В качестве концепции базовой модели вычислений предлагается взять концепцию ∑-*определимости вычислений* [26], дополнив ее *процедурой проверки истинности* ∑-*формул на многосортной конструктивной модели M*, рассматриваемой совместно с ее списочной надстройкой *HW(M*), и *концепцией относительной вычислимости, допускающей использование оракул*ов [27-32].

Пусть M некоторое множество. Определим по индукции множество HW(M) *наследственно конечных списков* над M:

$HW_0(M) = \{\varnothing\}$;

$HW_{n+1}(M) = HW_n(M) \cup Lisp(HW_n(M) \cup M))$;

$HW(M) = n = 0\omega HW_n(M)$,

где $Lisp\omega(X)$ есть множество всех конечных списков, состоящих из элементов множества X. Пусть $\mathcal{M}$ многосортная конструктивная модель сигнатуры σ, где

M - базисное множество этой модели и пусть (HW(M)∪M) есть базисное множество расширенной модели HW($\mathcal{M}$) сигнатуры σ* = σ ∪ {nil, head, tail, cons, conc, =, ϵ, ≤, U}, где новые функциональные символы имеют естественную интерпретацию операций со списками, а предикатные символы интерпретируются как отношения, где = есть отношение равенства списков, ϵ - отношение «быть элементом списка», ≤ - отношение «быть началом списка» и где U(HW(M)) = M. Будем называть модель *HW*($\mathcal{M}$) расширенной сигнатуры σ* *надстройкой наследственно конечных списков для модели* $\mathcal{M}$ или просто *списочной надстройкой над* $\mathcal{M}$. Далее мы будем рассматривать многосортную конструктивную модель $\mathcal{M}$ вместе со своей списочной надстройкой HW($\mathcal{M}$) как некий исходный *базовый вычислитель*, у которого все сигнатурные сущности представляют собой вычислимые конструкции. Кроме того, мы допускаем также возможность обогащения сигнатуры σ* дополнительными предикатными и функциональными символами, часть которых будет использоваться как предикатные и функциональные переменные, а у остальных в качестве их интерпретаций выступают некие *внешние* вычислимые конструкции, называемые нами в дальнейшем *оракулами*.

Естественным образом в нашем языке определяются термы и атомарные формулы сигнатуры σ*. Класс Δ0–формул сигнатуры σ* определяется как наименьший класс формул, содержащий все атомные формулы и замкнутый относительно ¬, □,□, →, □x∈a, ∃x∈a, ∀x≤a, ∃x≤a, где a – это терм. Напомним, что здесь «∈» означает «быть элементом списка», а «≤» – «быть начальным подсписком». Выражения вида ∀x∈a, ∃x∈a, ∀x≤a, ∃x≤a далее мы будем называть ограниченными кванторами.

Имея класс Δ0–формул определим теперь класс ∑–формул сигнатуры σ* как наименьший класс формул, содержащий все Δ0–формулы и замкнутый относительно ∧, ∨, ∀x∈a, ∃x∈a, ∀x≤a, ∃x≤a и неограниченного квантора существования ∃x. Заметим, что в нашем языке мы вполне корректно можем писать также формулы, у которых добавлены ограниченные кванторы вида «∀x=t» и «∃x=t», где t – терм. Нетрудно убедиться в том, что такие выражения логически эквивалентны по своему смыслу оператору присваивания «x:=t» в традиционном программировании.

Некое отношение в *HW*($\mathcal{M}$) будем называть ∑*–отношением*, если оно является ∑–определимым, и $\Delta_0$*–отношением,* если оно $\Delta_0$–определимо. Частично определенная функция является ∑*–функцией* ($\Delta_0$*–функцией)* в *HW*($\mathcal{M}$) если ее график ∑–определим ($\Delta_0$–определим).

Введем теперь очень важное для дальнейшего изложения понятие формульной определимости. Пусть задана некоторая модель $\Re$ = (R; $P^{n_0}_{m_0}, \ldots, P^{n_k}_{m_k}$). Будем говорить, что модель $\Re$ является Σ–определимой над HW($\mathcal{M}$), если существуют Σ–определимое подмножество S ⊆ HW($\mathcal{M}$) и отображение μ : S → R такие, что μ–прообразы предикатов $P^{n_0}_{m_0}, \ldots, P^{n_k}_{m_k}$ и =, а

также μ–прообразы их дополнений являются Σ–отношениями в HW($\mathcal{M}$) (как правило, с параметрами). Данное определение можно корректно обобщить и на случай моделей, в сигнатуру которых помимо предикатных входят и функциональные символы. Важность данного определения заключается в том, что оно позволяет нам формально задавать модель некой предметной области как набор ∑-определений нашего языка, т.е. как набор ∑-формул и ∑-термов. При этом допускаются рекурсивные схемы ∑-определений с некоторыми ограничениями на вхождения в них определяемых предикатов и термов. Запрос к модели предметной области мы определим также как ∑-формулу, в записи которой могут использоваться как сигнатурные конструкции базовой конструктивной модели, так и определяемые предикаты, и термы предметной области.

Приведем некоторые факты, характеризующие исключительную выразительную и вычислительную силу введённых нами понятий и конструкций [28-31,33-41]:

- Если исходная модель $\mathcal{M}$ является вычислимой (полиномиально вычислимой), то ее списочная надстройка $HW(\mathcal{M})$ также является вычислимой (полиномиально вычислимой).
- Если модель $\mathcal{M}$ полиномиально вычислима, то в ее списочной надстройке $HW(\mathcal{M})$ функции, определяемые термами, являются также полиномиально вычислимыми.
- Если исходная модель $\mathcal{M}$ является вычислимой, то в ее списочной надстройке $HW(\mathcal{M})$ ∑-отношения являются *рекурсивно перечислимыми*, а ∑-функции - *вычислимыми*. Данный факт объясняет содержание термина «формульная определимость вычислимости».
- Если модель $\mathcal{M}$ полиномиально вычислима, то в ее списочной надстройке $HW(\mathcal{M})$ истинность каждой $\Delta_0$–формулы $\varphi(x_1, \ldots, x_n)$ полиномиально вычислима.
- Для разрешимой модели $\mathcal{M}$ и ее вычислимой списочной надстройки $HW(\mathcal{M})$ их теории, к сожалению, *неразрешимы***.**
- В модели HW($\mathcal{M}$) для n-местных ∑–отношений существует универсальное (n+1)-местное ∑–отношение $P^{n+1}(x; x_1,\ldots, x_n)$ такое, что для каждого ∑–отношения $Q^n(x_1,\ldots,x_n)$ найдется элемент **a** такой, что $Q(x_1,\ldots,x_n) \leftrightarrow P(\mathbf{a}; x_1,\ldots,x_n)$. В тоже время универсальных вычислимых функций в модели $HW(\mathcal{M})$ не существует.
- Пусть $\varphi(x_1 , \ldots, x_n; Q+)$ есть ∑-формула с позитивным вхождением предиката $Q(x_1,\ldots,x_n)$ и пусть предикат Q является n-местным отношением в списочной надстройке $HW(\mathcal{M})$. Определим оператор G на $HW(\mathcal{M})$:

$G(Q) = \{(a_1, \ldots, a_n) | HW(\mathcal{M}) \models \varphi(a_1, \ldots,a_n; Q+)\}$.

тогда оператор G является монотонным и имеет наименьшую неподвижную точку, которая ∑-определима. Отметим, что именно эта,

чрезвычайно важная, теорема Ганди позволяет при формальном определении предметных областей использовать рекурсивные конструкции. При этом, на позитивно входимый в ∑-формулу $\varphi(x_1, \ldots, x_n; Q+)$ предикатный символ Q+ часто целесообразно смотреть либо как на определяемый рекурсивно предикат, либо как на вызов оракула, допуская тем самым в нашей концепции семантической вычислимости так называемую *относительную вычислимость* – исключительно сильный инструмент моделирования, в частности сложных иерархических структур.

На практике предлагается ограничиться классом $\Delta_0$-формул**.** Заметим, что с помощью $\Delta_0$ –определений можно значительно повысить выразительную силу нашего исходного языка путем введения в рассмотрение так называемых *условных* и *рекурсивных* $\Delta_0$ – *термов* [34-35]. Так, например, если φ - $\Delta_0$-формула, а $t_1$ и $t_2$ – термы, то тройка $(\varphi,t_1,t_2)$ есть условный $\Delta_0$ *–терм,* интерпретацией которого служит следующая вычислительная схема: если φ истина, то исполняется терм $t_1$, в противном случае – терм $t_2$. С использованием различных итерационных и рекурсивных схем вычислений похожим образом определяются рекурсивные термы [35]. Обогащенный подобным конструкциями язык $\Delta_0$–определений предстает как весьма выразительный *логико-функциональный язык моделирования*. И что очень важно – такое обогащение сохраняет исходную полиномиальную вычислимость. Более того, было показано, что при определенных условиях верно и обратное – каждая полиномиально вычислимая функция является Δ0 –определимой [39]. Для этого будем использовать более приемлемый на практике язык спецификаций задач в классе $\Delta_0$-формул. Будем говорить, что задача ***P* формульно представима** **в** *HW*($\mathcal{M}$), если:

- *предметная область*_может быть задана в виде $\Delta_0$-модели ***P*** сигнатуры списочной надстройки *HW*($\mathcal{M}$), т.е. как набор $\Delta_0$-определений (еще раз напомним, что допускаются рекурсивные $\Delta_0$–определения);

- указан *запрос* к $\Delta_0$-модели ***P*** либо в виде $\Delta_0$-формулы **φ**, либо в виде $\Delta_0$-терма **t**.

- в качестве *ответа* на запрос (т.е. *решения задачи* ***P***):

- если *запрос* к $\Delta_0$-модели ***P*** имеет вид $\Delta_0$-формулы **φ,** то ищутся конкретизации свободных переменных **φ**, при которых формула **φ** является *истиной,*

- если *запрос* имеет вид $\Delta_0$-терма **t,** то *вычисляется* значение $\Delta_0$-терма **t**.

Здесь важно подчеркнуть, что истинность $\Delta_0$-формулы запроса, получаемой подстановкой констант вместо переменных, и есть критерий решенности задачи ***P***. Заметим, что наборов констант, делающих $\Delta_0$-формулу запроса истинной, может оказаться несколько и потому есть возможность выбора в каком-то смысле «наилучшего» решения с учетом контекста решения

задачи. В этом случае критерий решенности задачи ***P*** должен содержать и критерий выбора наилучшего ответа на запрос. Так понимаемый подход к формулировке и решению задач и носит название ***семантического моделирования***. Важно заметить, что описанный выше формализм допускает свое естественно расширение путем введения вероятностных и нечетких конструкций.

### 2.3. *Индуктивный вывод знаний на модели предметной области*

Как отмечалось в [41-46], предметная область может быть задана эмпирической системой $\mathfrak{I} = \langle A, \Omega \rangle$, где A – объекты Предметной Области (ПО), а Ω – множество отношений и операций, интерпретируемых в системе понятий ПО. Множество Ω представляет собой *онтологию предметной области*.

«Знания – это воспринятая, осознанная и ставшая личностно значимой информация» [47]. Поэтому для индуктивного вывода знаний необходимо *понимание* и *интерпретация* человеком предметной области и её онтологии.

Индуктивный вывод знаний на модели предметной области, осуществляемый любым методом машинного обучения, должен уметь правильно обрабатывать свойства и атрибуты объектов ПО, чтобы получить знания в терминах онтологии Ω. Следует заметить, что сами по себе числовые значения величин знания и информацию не содержат, т.к. смысл величин указывается в их интерпретации, например, 5 метров, 5 литров, 5 килограмм и т.д. Интерпретация, в частности, определяет какие математические действия можно с ними осмысленно проводить. Стоит заметить, что физические величины, измеренные в предметной области, отличной от физики, теряют свою исходную физическую интерпретацию. Рассмотрим, например, такую физическую величину как температура. Шкалы температур в нефизических областях, например, при измерении температуры тела больного в медицине, температуры почвы в сельском хозяйстве или температуры воздуха в духовке в кулинарии и т.д., должны быть разные, хотя измеряться могут одним и тем же прибором – термометром. Шкала некоторой величины, с точки зрения теории измерений, – это набор отношений и операций, которые имеет смысл производить с числовыми значениями величин в данной предметной области, т.е. это те отношения и операции, которые интерпретируемы в онтологии ПО. Можно возразить, что термометр не может измерять ничего кроме температуры. Он действительно во всех случаях измеряет физическую температуру. Но температура, как и любой другой прибор, нужны для *получения выводов (знаний) в системе понятий* (онтологии) той предметной области, к которой он относится. Физическая температура больного – есть косвенное измерение медицинской величины – уровня обмена веществ. Для почв температура интерпретируется в системе понятий физиологии растений и деятельности микроорганизмов. Физическая температуры в других предметных областях

*является косвенным измерением* некоторой величины, интерпретируемой в системе понятий данной предметной области, которую мы и хотим измерить. Какие отношения и операции над числовыми значениями температуры имеют смысл для этих величин, определяется уже онтологиями соответствующих ПО. Таким образом, для извлечения информации из атрибутов и величин ПО нужно определить множество интерпретируемых в онтологии Ω математических отношений и операций над этими величинами и включить их в онтологию Ω предметной области $\Im = \langle A, \Omega \rangle$.

Рассмотрим задачу обнаружения теории $Th(\Im)$ ПО, т.е. теорию эмпирической системы $\Im$. Будем предполагать, что теория $Th(\Im)$ представляет собой совокупность универсальных формул (более общий случай рассмотрен в [47]). Известно, что совокупность универсальных формул логически эквивалентна совокупности правил вида:

$$\forall x1,\ldots,x2(A1\&...\&Ak \Rightarrow A0),\ k \geq 0, \qquad (1)$$

где A0,A1,…,Ak – литералы. Поэтому можно считать, что теория $Th(\Im)$ представляет собой совокупность правил вида (1).

Нетрудно видеть, что правило $C = (A1\&...\&Ak \Rightarrow A0)$ логически следует из любого подправила вида: $(Ai1\&...\&Ain \Rightarrow A0)$, где $\{Ai1,...,Ain\} \subset \{A1,...,Ak\}$, $0 \leq h < k$, то есть: $(Ai1\&...\&Ain \Rightarrow A0) \vdash (A1\&...\&Ak \Rightarrow A0)$. Тогда теорию $Th(\Im)$ можно упростить. Законом эмпирической системы $\Im = \langle A, \Omega \rangle$ будем называть истинное на $\Im$ правило C вида (1), для которого каждое его подправило уже не истинно на $\Im$. Тогда верно, что:

$L \vdash Th(M)$ [16,48].

Тогда теорию $Th(\Im)$ можно рассматривать как совокупность законов эмпирической системы.

Определим вероятность η на эмпирической системе $\Im = \langle A, \Omega \rangle$ как на модели [49]. Вероятностным законом на $\Im$ будем называть правило $(A1\&...\&Ak \Rightarrow A0)$ условная вероятность $\eta(A0\&A1\&...\&Ak)/\eta(A1\&...\&Ak)$ которого определена $(\eta(A1\&...\&Ak) > 0)$ и строго больше условных вероятностей каждого из его подправил. Сильнейшим Вероятно*стным Законом* (СВЗ) будем называть вероятностный закон C, который не является подправилом никакого другого вероятностного закона.

Индуктивный вывод вероятностного знания на предметной области $\Im = \langle A, \Omega \rangle$ осуществляется следующим семантическим вероятностным выводом.

Семантическим Вероятностным Выводом (СВВ) некоторого сильнейшего вероятностного закона Cn, предсказывающего некоторый факт G, будем называть последовательность $C1 \sqsubset C2 \sqsubset ... \sqsubset Cn$, $Ci = (Ai1\&\ldots\&Aiki \Rightarrow G)$ вероятностных законов, для которой правило Ci является подправилом правила Ci+1 и $\eta(Ci) < \eta(Ci+1)$, $i = 1,2,...n-1$.

Знания нужны прежде всего для предсказания. Определим теперь сильнейшие вероятностные законы, решающие проблему статистической

двусмысленности [48,50] и предсказывающие без противоречий.

Рассмотрим множество всех сильнейших вероятностных законов, предсказывающих некоторый факт G. Это множество можно представить семантическим вероятностным деревом вывода факта G.

Максимально Специфическим Вероятностным Законом МСВЗ(G) вывода некоторого факта G будем называть сильнейший вероятностный закон, принадлежащий некоторому семантическому вероятностному дереву вывода факта G, имеющий максимальное значение вероятности среди всех правил дерева. Множество всех максимально специфических законов МСЗ(G) для всех литералов $G \in \Omega$ обозначим через МСЗ.

Можно доказать, что $L \subset$ МСЗ [41,47-48] и поэтому множество законов МСЗ обобщает теорию $Th(\Im)$. Кроме того, МСЗ логически непротиворечиво [47-48,50] и поэтому в точном смысле является вероятностной теорией предметной области $\Im = \langle A, \Omega \rangle$. Можно доказать [47-48,50], что предсказания, получаемые индуктивно-статистическим выводом по законам из МСЗ, непротиворечивы.

Данная теория обнаружения индуктивных знаний на эмпирической системе $\Im = \langle A, \Omega \rangle$ ПО реализована в виде платформы и программной системы «Discovery», приведенной далее. С ее помощью было решено множество практических задач (http://old.math.nsc.ru/AP/ScientificDiscovery/index_rus.html).

### 3. *Платформенные решения задачного подхода*

В настоящее время семантическое моделирование, как одна из концепций автоматического решения интеллектуальных задач, опирается не только на методологию и теорию задачного подхода, но и имеет в своем распоряжение развитый инструментарий, ориентированный на поддержку и сопровождение следующей технологической схемы решения интеллектуальных задач:

● *ШАГ 1*. Уточняется возникшая *потребность*, выявляется и изучается связанное с ним *противоречие*, связанное с отсутствием «шаблонного» способа удовлетворения данной потребности. Отметим, что это противоречие, по своей сути, и является истинной причиной и содержанием решаемой задачи. Далее, на естественном языке формулируется *критерий успешности* преодоления выявленного противоречия (прототип *критерия решения задачи*), при необходимости осуществляется декомпозиция противоречия/задачи и определяется *контекст задачи* (почему, зачем, ближайшая надзадача, подзадачи, цель и последствия решения/нерешения задачи и т.д.).

● *ШАГ 2*. На естественном языке описываются релевантные задаче *общие знания*, строится *онтологическая модель* проблемной области (понятия, факты, правила, отношения, …), формулируется в общих и онтологических терминах класс запросов к проблемной области.

● *ШАГ 3*. В логико-вероятностных терминах семантического моделирования строится *формальная модель* проблемной области задачи и в этих же формальных терминах формулируется *запрос* и *критерий решения*.

● *ШАГ 4*. В рамках и средствами соответствующей инструментальной платформы семантического моделирования строится *компьютерная модель* задачи.

● *ШАГ 5*. С помощью компьютерной модели находятся *ответы* на запросы. Проверяется выполнимость критерия решения, *обоснованность и/или объяснимость* ответов и их *интерпретируемость.*

Что же касается технологического инструментария семантического моделирования, то созданы и активно развиваются несколько платформенных решений.

### 3.1. *Платформа D0SL*

Примером успешного применения задачного подхода и его логико-математической теории — семантического моделирования может служить семантическая платформа **D0SL**, представляющая собой следующее поколение так называемых Business Rules Engines (BRE) [ www.d0sl.org]. D0SL, так же, как и обычная платформа BRE, позволяет реализовать бизнес-логику системы с помощью языка декларативных логических спецификаций. Проект создания платформы D0SL осуществлялся под руководством В.Ш.Гумирова.

Платформа d0sl позволяет управлять логикой поведения сложных систем с помощью языка d0sl, понятного специалисту предметной области. Платформа имеет широкую область применения — от бизнес-процессов предприятия до управления проектами или поведением автономных систем, в том числе систем искусственного интеллекта и интернета вещей. Заметим, что язык d0sl легко расширяется функциями и объектами, характерными для конкретной предметной области. Более того, d0sl сам по себе является предметно-ориентированным языком (DSL). Существование механизма расширения на уровне языка d0sl позволяет построить иерархию языков DSL, которые могут быть преобразованы в d0sl и, следовательно, могут выполняться ядром d0sl.

Что касается приложений, то язык d0sl активно используется в обработке транзакций и событий систем в телекоммуникациях, финтехе и банковском деле, что позволяет легко изменять и настраивать бизнес-логику создаваемых приложений. Использование платформы d0sl оказалось особенно эффективным при цифровой трансформации предприятий, позволяя быстро и качественно разрабатывать автономные системы поддержки принятия решений, системы предиктивной аналитики, моделирования и цифровых двойников различных объектов, в том числе самих организаций.

Следует отметить, что язык d0sl является одним из основных технологических инструментов открытой платформы Eyeline Mobilizer,

предназначенной для разработки и эксплуатации сервисов с поддержкой мобильных устройств на всех типах платформ, включая USSD/SMS/SS7, смартфоны (Android, iOS), мобильный Интернет [www.eyeline.ru]. С использованием платформы Eyeline Mobilizer разработаны решения и реализованы проекты в сфере телекоммуникаций, мобильного маркетинга и рекламы, финансов, банковских услуг, муниципального управления и мобильных платежей. В настоящее время решения и сервисы на базе платформы Eyeline Mobilizer обслуживают десятки миллионов пользователей мобильных устройств. Платформа позволяет значительно сократить расходы на разработку и эксплуатацию мобильных решений для вашего бизнеса. Примерами успешных внедрений являются: USSD-сервисы для МТС (*100#, *111# и др.) и USSD-портал Альфа-Клик *142# Альфа-Банка (Россия), InnomaNet/T-mobile (Россия), WATAGO Africa (все крупнейшие мобильные платежные системы Нигерии), проект «Парковка» Правительства Москвы (Россия), система оповещения о пропущенных звонках, Yellow Pages/SMART на Филиппинах, облачная установка для обслуживания клиентов GlobalUSSD.com, Билайн Россия (прямые деньги). трансферы) и многое другое.

### 3.2. *Платформа bSystem*

bSystem является платформой для построения цифровых двойников организаций и процессов. Она развивается исследовательской группой А.В.Манциводы в течение ряда лет. Платформа ориентирована на создание интеллектуальных систем управления крупными бизнес-экосистемами, цифровой трансформации предприятий и иных интегральных решений. Благодаря единой среде семантического моделирования, bSystem активно интегрирует базовый уровень онтологий с логико-вероятностным индуктивным выводом знаний и семантическим вероятностным выводом прогнозных правил и решений Е.Е. Витяева и классическим программированием.

Архитектура bSystem построена на интеграции трех уровней:

логико-вероятностного,

аналитико-онтологического,

операционно-транзакционного.

Центральный – аналитико-онтологический уровень [51-52] – контролирует основные параметры управляемого объекта, отражает текущее состояние его компонент и связей между ними, предоставляет инструменты для аналитической работы, в частности, для принятия решений операционного уровня (к ним, например, относятся задачи бизнес-аналитики). Этот уровень формирует ядро платформы, на нем идет управление онтологиями – базовыми системами знаний о предметной области, вокруг которых строится вся работа.

Над центральным уровнем надстраивается уровень логико-вероятностного вывода (ЛВВ). Он реализует функционал объясняющего искусственного

интеллекта. В рамках платформы ЛВВ отвечает за стратегические вопросы прогнозирования, принятия решений и другие задачи ИИ. Его ценность для bSystem состоит в том, что в отличие от нейронных сетей, которые в процессе обучения “накапливают” в нейронах числовые коэффициенты, не имеющие семантической интерпретации, ЛВВ в процессе обучения формирует вероятностно-логические теории (наборы закономерностей), семантически описывающие предметную область. Отсюда и способность ЛВВ объяснять свои решения. Это также в потенциале обеспечивает “самоконтроль” – способность оценить с помощью логических мета-средств достоинства и недостатки знаний, сформированных в процессе обучения. Такие возможности абсолютно недостижимы для нейронных сетей.

Наконец, операционно-транзакционный уровень – это уровень процедур и методов, изменяющих систему во времени. На этом уровне в bSystem работает объектно-ориентированный язык Libretto. С точки зрения задачного подхода, операционно-транзакционный уровень формирует среду управления жизненным циклом задач. Любой бизнес-процесс, который контролируется на этом уровне, есть не что иное, как процесс решения некоторой задачи в реальном времени (на практике – экземпляра некоторой обобщенной задачи). Функционирование цифрового двойника, разворачивающееся во времени, есть управление конгломератом взаимодействующих друг с другом активных задач, генерацией новых экземпляров задач и закрытием задач с выполненным условием решенности. И если декларативные постановка задачи и критерий её решения управляются на более высоком онтологическом уровне, то сам процесс решения через систему шагов-транзакций осуществляется на уровне операционном. При этом сами бизнес-процессы также представлены в виде объектов онтологии, что позволяет на декларативном уровне контролировать процесс решения. Таким образом, bSystem через взаимодействие онтологического и операционного уровней дает полноценную реализацию задачного подхода.

Ключевой особенностью bSystem является то, что все три уровня погружены в единое семантическое пространство, взаимодействуют друг с другом и обеспечивают вертикальное масштабирование. Данная интеграция несет мощный синергетический заряд, не только помогая улучшать количественные показатели (за счет бесшовного взаимодействия там, где обычно используется зоопарк различных информационных технологий), но и позволяя качественно изменять ситуацию. Например, такая интеграция делает возможной реализацию принципиально новой low-code технологии – объектного low-code, основанного на автоматическом синтезе кода по объектной онтологии [53]. Это принципиально отличает его от традиционного low-code, основанного на диаграммах – вариациях спецификации BPMN [54].

Центральным инструментом, обеспечивающим целостность цифровой

среды bSystem являются онтологии. Как правило, цифровой двойник – это онтология или сеть онтологий, которые играют роль ядра семантического моделирования, определяя базовые объекты и связи между объектами описываемой предметной области и решаемых задач.

Онтологию можно рассматривать как хаб, который обеспечивает взаимодействие разнообразных компонент цифрового двойника. На логико-вероятностном уровне онтологии играют роль эмпирических систем, из которых берется информация для обучения. На центральном – аналитико-онтологическом уровне – онтология является семантической основой для цифрового двойника, источником информации для аналитических манипуляций. Наконец, на процедурно-транзакционном уровне онтология служит системой типов данных для языка программирования платформы – Libretto.

Поиск подходящей архитектуры для онтологий оказался отнюдь не простой задачей. Достаточно сказать, что bSystem стала шестой (и лишь первой достаточно эффективной) попыткой построить платформу управления онтологиями такого рода. Чтобы понять, какие онтологии нужны, нами была выработана система требований, которым должна удовлетворять онтология. Приведем некоторые из них.

Во-первых, как отмечалось выше, онтологии ответственны за обеспечение вертикальной связности и единого семантического пространства платформы. Знания из онтологии должны иметь эффективную интерпретацию на всех уровнях bSystem – и в тонких методах логико-вероятностного вывода, и в аналитических модулях (например, в рамках бизнес-аналитики), и в программных процедурах, решающих традиционные алгоритмические задачи.

Во-вторых, с онтологиями будут работать люди, причем, в основном, мало понимающие в математической логике (именно трудности с пониманием формализмов стали одним из ключевых барьеров, ответственных за неудачи хорошо известной концепции Semantic Web [55]). Поскольку онтология задает базовые знания о предметной области в среде взаимодействия людей и информационных систем, то если люди онтологию не понимают, все остальное становится бессмысленным. Поэтому такое строение онтологии, которое обеспечивает интуитивное понимание онтологической информации, согласованное с каждодневным опытом пользователя, также является необходимым условием.

Далее, онтология должна обеспечить стандартизированный механизм взаимодействия с внешними оракулами (информационными системами, нейронными сетями, интернетом вещей). Например, сбор информации в системе контроллеров компании, управляющей жилым комплексом, является одной из основ функционировании её цифрового двойника. Для взаимодействия двойника с внешним миром онтология должна быть снабжена логическими

аналогами хорошо известных программных интерфейсов (API).

Наконец, если мы хотим, чтобы наши онтологии были востребованы, они должны быть эффективными. Это означает, что высокоуровневые онтологии должны иметь реализацию, сравнимую по продуктивности с реляционными базами данных. Онтология должна обладать способностью содержать миллионы сущностей, и выдавать ответы на запросы практического уровня сложности в реальном времени.

Совмещение перечисленных требований в едином формализме оказалось довольно непростой задачей (например, онтологии, базирующееся на хорошо известном языке OWL [56], не соответствуют нескольким из них). В процессе экспериментов оказалось, что в наибольшей степени к данным требованиям подходят онтологии, которые основаны на идеях объектного моделирования.

Особенность объектных моделей состоит в том, что в них четко выражены два слоя – декларативный и процедурный. Первый состоит из классов, объектов, полей или свойств объектов. Второй – из методов, определенных на уровне классов и действующих на объектах. Поскольку онтологии – это формальные описания базовых концептов, фактов и связей предметной области, а объектные модели занимаются аналогичными задачами на уровне программирования, то декларативный слой объектных моделей оказывается вполне адекватным кандидатом, чтобы превратиться в онтологию. Тем более, что суть объектных моделей весьма интуитивна, естественна и привычна людям. Это доказывается феноменально широким распространением объектно-ориентированных языков. Поэтому вполне можно выделить декларативный слой объектных моделей и, придав ему строгую логическую семантику, превратить его в вариант онтологии.

Что касается процедурного слоя, объектно-ориентированные языки обычно полны по Тьюрингу и это делает ситуацию мало контролируемой. С другой стороны, наличие процедурного слоя позволяет реализовать идею развития онтологии, управления её жизненным циклом. С этой точки зрения применение каждого метода или группы методов можно рассматривать как транзакцию, переводящую онтологию из одного состояния в другое [57]. Особенно полезна эта возможность при решении управленческих задач, поскольку такая интерпретация естественным образом определяет бизнес-процессы как цепочки транзакций в жизненном цикле онтологий [58].

Итак, чтобы превратить объектные модели в онтологии нам нужно сделать следующие шаги:

1. Описать логический формализм, соответствующий декларативному слою объектной модели. Для этого используем механизмы Δ0-определимости семантического моделирования.

2. Традиционные объектные модели короткоживущие, они содержатся только в оперативной памяти. Нам необходимо сделать их долгоживущими,

поскольку онтологии – долговременные хранилища данных и знаний. Это обеспечивает им функционал объектной базы данных.

3. Для работы с онтологией необходим язык запросов, сочетающий логическую выразительность с эффективностью, сравнимой с эффективностью SQL в реляционных базах данных. В bSystem в качестве такого языка используется декларативное ядро Libretto, имеющее строгую логическую семантику.

4. Для того чтобы обеспечить механизмы изменения и развития онтологии во времени, переформатируем процедурный уровень объектной модели в транзакционную систему управления содержимым онтологии.

5. Практика показала, что инструменты управления жизненным циклом объектов серьезно усиливают функционал по сравнению с традиционными объектными моделями, что особенно полезно при управлении бизнес-процессами. Используя транзакционные механизмы, организуем контроль за ЖЦ объектов.

6. Финальный шаг – это автономизация онтологий. Онтология сворачивается в кокон, закрывается от внешнего мира, с которым теперь общается только через строго регламентированный интерфейс (аналог программистского API).

С точки зрения задачного подхода пункт 5 реализует двухуровневое управление жизненным циклом задач, которые исполняются на нижнем операционном уровне и семантически контролируются на уровне онтологическом.

Последний шаг реализует концепцию локальной простоты [52] – построение сколь угодно сложных систем как сетей относительно простых онтологий с логически регламентированными механизмами взаимодействия. Это обеспечивает свободное горизонтальное масштабирование при построении цифровых двойников.

С информационной точки зрения второй и последний шаги превращают объектную онтологию в микросервис [59], поскольку обеспечивают два основных свойства микросервиса – автономность хранилища данных (это у нас онтология) и строгий контроль за взаимодействием с внешним миром. Это задает и общую архитектуру цифровых двойников, которые строятся на основе bSystem.

bSystem позволяет использовать принципиально новую методологию разработки [60]. За счет открытости моделирование принципиально изменяет механизмы взаимодействия

участников разработки и эксплуатации систем. Онтология непосредственно доступна для всех участвующих компетенций. Например, заказчик получает полный контроль над процессом разработки и способен дать раннюю обратную связь с мгновенной детекцией проблем. Высокоуровневая модель, благодаря

своей строгой логической семантике, одновременно выполняет роль спецификации, исполняемой документации проекта. Это принципиально отличается от черного ящика программного кода.

### 3.3. *Платформа DISCOVERY - онтологический подход к индуктивному выводу знаний*

Как было сказано, Витяевым Е.Е. разработан онтологический [6,42,50-51] подход к методам извлечения знаний и, реализующая его, система «Discovery». Данный подход разработан для обнаружения знаний на информации, извлеченной из данных и представленной эмпирической системой ПО. Система «Discovery», обладает следующими преимуществами по сравнению с другими методами машинного обучения:

1) снимает ограничения с используемых типов данных за счет использования любой информации, извлеченной из данных в терминах Ω;

2) снимает ограничения с используемого априорного знания путем представления его в Ω;

3) снимает ограничения с классов проверяемых гипотез за счет задания класса обнаруживаемых знаний Rule Type, определенных в Ω;

4) система Discovery обнаруживает следующие виды закономерностей:

- множество законов L и теорию Th($\mathfrak{I}$) эмпирической системы $\mathfrak{I}$;
- множество вероятностных и сильнейших вероятностных законов;
- множество максимально специфических законов, предсказывающих без противоречий [48,52];

В онтологическом подходе обнаруживаемые знания полны в двух смыслах: (1) в смысле полноты извлечения информации из данных за счет использования онтологии и теории измерений; (2) в смысле полноты обнаруживаемых знаний в виде множеств правил a)-c);

Существующие методы машинного обучения не в состоянии поддерживать режим исследования данных, когда обнаруживаемая закономерность заранее неизвестна. Каждый метод машинного обучения обнаруживает свой вполне специфический класс гипотез, соответствующий его онтологии. Система «Discovery» может обнаружить произвольный класс гипотез, который может задать эксперт, и, тем самым, способна поддерживать режим исследования данных, когда класс гипотез может меняться в процессе исследования.

Система «Discovery» обнаруживает знания в терминах онтологии ПО. Интерпретируемость закономерностей может быть очень важна при принятии ответственных решений в таких областях, как медицина, финансы или военные приложения.

Система «Discovery» применялась для решения множества задач в финансовом прогнозировании [6,42], биоинформатике [64], медицине [65], анализе жульничества [66] и многих других.

### 3.4. *Delta-платформа*

Как упоминалось во Введении одной из острых проблем современного ИИ, помимо хорошо известной проблемы «черный ящик», является так называемая *проблема централизации*, означающая появление тенденции сосредоточения власти и контроля над ИИ в руках небольшого числа юридических лиц. Для решения этой проблемы во Введении было предложено воспользоваться опытом применения *децентрализованных решений* из сферы криптовалют. При этом сами ИИ-алгоритмы предлагалось рассматривать как *умные контракты*, которые исполняются на блокчейн-подструктурах *мультиблокчейна*, что обеспечивало бы прозрачность всех операций, прозрачность обучающей выборки и прозрачность принятия решений. И, наконец, выдвигалось требование *полиномиальной вычислимости* ИИ-алгоритмов, что имеет очевидное прикладное значение. В целом, ставилась задача создания полиномиально вычислимой (во всех смыслах) системы доверительного семантического моделирования. Но чтобы приступить к ее практическому решению потребовалось несколько лет серьезных исследований.

Введённые в 2017 году С.С.Гончаровым условные термы [34] позволили понять, что термами могут быть не только стандартные термы логики предикатов первого порядка, но и другие, корректно заданные синтаксические конструкции. Это позволило С.С.Гончарову и Д.И.Свириденко в 2019 году ввести такие термальные расширения, как ограниченно-рекурсивные термы, B-while термы, итерационные термы и т. д. [33] и показать, что все эти термальные расширения не выводят за рамки полиномиальности. Но проблема p-полноты этих расширений так ими и не была решена. Однако уже в 2022 году С.С.Гончаровым и А.В.Нечесовым была найдена финальная синтаксическая конструкция, которая завершила построение p-полного языка семантического моделирования L [39]. Чуть ранее, в 2021 году, ими же был доказан полиномиальный аналог теоремы Ганди о наименьшей неподвижной точке [36], который говорил о том, что в рамках определенной $\Delta_0$-системы можно найти такие условия на формулы, что классический результат теоремы Ганди становится справедливым и для этой системы. При этом, что очень важно, в этой системе наименьшая неподвижная точка построенного оператора будет p-вычислимой. Это дало еще больший толчок к дальнейшему развитию языка семантического программирования L и к развитию самой формальной $\Delta_0$-системы.

Отметим, что полиномиальный аналог теоремы Ганди позволяет погружать любые индуктивно задаваемые синтаксические конструкции внутрь формальной системы, предлагая, как кодировку, так и средства оценки сложности такого хранения. Это позволило С.С.Гончарову, Д.И.Свириденко и А.В.Нечесову описать объектно-ориентированную версию p-полного

семантического языка программирования L* [40] и приступить к разработке специального фреймворка — **Delta-платформе,** вобравшей в себя, в том числе, и весь необходимый функционал для решения выше упомянутых идей: мультиблокчейны, смарт-контракты и язык L* на базе p-полного логического языка L. При этом, на разных уровнях мультиблокчейнов, при необходимости, можно задавать различные уровни доступа пользователей, задавать уровни прозрачности как самого блокчейна, так и смарт-контрактов, исполняемых на них. В силу того, что смарт-контракты являются программами специального вида в p-полном языке L*, то это заметно снижает уровень трудозатрат при их аудите. В самом же языке L* можно описывать работу как нейронных сетей [61], так и блокчейнов [62], что несомненно является плюсом, так как не требует никаких внешних программных средств для их реализации.

С точки зрения задачного подхода в p-полном языке L* мы можем не только описать саму задачу, но в рамках и средствами этого же языка и решить ее. В силу того, что база у нас блокчейны, то децентрализованные решения строятся достаточно просто. В качестве верхнеуровнего блокчейна может быть выбран самый безопасный и децентрализованный, например, блокчейн Биткоина или Эфириума. Блокчейны более низких уровней могут не иметь децентрализации и использоваться как обычная база данных, в том числе и на домашнем компьютере одного из пользователей. А поскольку не нужно будет достигать никакого консенсуса с другими блокчейнами, то это повлечет за собой высокую скорость записи..

Хотелось бы заметить, что создание Delta-платформы в интеграции с предсказатель-ными системами типа Discovery способно дать мощный толчок к построению ИИ-алгоритмов, которые по своей природе близки к алгоритмам общего искусственного интеллекта (AGI), что обеспечивает как высокую *самообучаемость* таких систем, так и высокое *доверие* к ним обычных пользователей. В этой комбинации отмеченных выше возможностей и видится реализация основных положений задачного подхода, когда ИИ-системы могут решать, как поставленные перед ними задачи, так и самостоятельно формулировать новые задачи, которые не были явно прописаны в алгоритмах ИИ. Все это позволяет нам говорить о возможности построения доверительного «общего» ИИ в рамках и средствами задачного подхода.

## 4. *Заключение*

Данную статью можно рассматривать как своеобразный отчет о результатах исследований в области задачного подхода и его практических применениях, осуществляемых коллективом авторов статьи, их учениками и коллегами, которые были начаты еще в 70-80-х годах прошлого столетия. За эти годы была проделана большая работа по развитию и практическому применению положений задачного подхода применительно не только к

различным проблемам оснований математики и ИИ, но и к таким областям как когнитивные науки, нейрофизиология, медицина, цифровая трансформация предприятий, автоматизация проектирования сложных систем, цифровые двойники и т.д. Как видно из вышесказанного, удалось не только существенно развить методологические и математические положения задачного подхода, но и создать его эффективную инструментально-технологическую базу, позволившую успешно решать широкий спектр задач из различных областей: телекоммуникации, бизнес, ритейл, финтех, генетика, геология, кибербезопасность, робототехника, медицина и пр. На повестке дня – создание доверительного «общего» ИИ. И как показывает опыт предыдущих лет есть все основания, что в ближайшее время такой ИИ будет создан. В том числе в рамках и средствами задачного подхода.

## *1. Introduction*

After the events associated with the “ChatGPT revolution” and which opened up to the world not only new brilliant prospects and possibilities of artificial intelligence, but also new risks and dangers of its use that could lead to uncontrollable consequences, the topic of AI has become extremely fashionable and popular, actively discussed not only among specialists and professionals, but also in other circles, including government ones. And one of the central problems discussed in connection with such a rapid development of events was the problem of trust in AI systems, which actually means society’s recognition of the fact that modern artificial intelligence systems cannot guarantee the correctness of the solutions they offer to problems. Those it is recognized that these decisions may be false, erroneous, incorrect, inaccurate, deliberately misleading, etc.

The problem of trust in AI is a complex problem, representing a whole “tangle” of problems that prevent people from trusting AI algorithms. In this paper, only some of these problems will be touched upon, namely the “black box” problem, the centralization problem and the audit problem, since according to the authors, solving these problems can significantly increase people’s trust in AI systems.

Let us recall that the “black box” problem means the fact that some AI systems, when producing the result of solving a problem, do not explain it in any way. Moreover, most often the result presented by such an AI system either cannot be verified by the end user at all under any conditions, or the complexity of checking the result requires enormous resources and mental costs. And one more note related to the “black box” problem. The fact is that to completely solve the problem under discussion, it is not enough to make the mechanism for generating results by AI systems transparent. At the same time, we should try to raise the level of competencies of the users of these systems. After all, the high demand for the services of AI systems is supported precisely by users, who often do not pay much attention to the “black box” problem. Moreover, even if the algorithms of the same

neural network are transparent and the formation of the result is “explained” by some special additional program, it is far from a fact that the presented justification will be convincing and understandable to an ordinary, not sophisticated user. This especially applies to artificial neural networks with billions of parameters, with their huge number of weighting coefficients and activation functions. It seems that here it is necessary to use logic and logical rules that would not only look convincing and truthful, but could also explain to a person the considerations from which the result was formed.

Another acute problem of modern AI is the so-called problem of centralization, which means the emergence of a tendency to concentrate power and control over AI in the hands of a small number of legal entities, which can negatively affect development and innovation in this area. Moreover, centralized control over systems like ChatGPT can lead to such incorrect system settings that can lead to very serious consequences and cause harm to both the end user of the system and humanity as a whole. To solve this problem, it is proposed to take advantage of the experience of using decentralized solutions. An example is the use of blockchain in the field of cryptocurrencies. The most stable computer network in the world today is the Bitcoin blockchain network, which has been operating stably since January 3, 2009. In principle, blockchains, as databases for storing information, may well be suitable for AI solutions. At the same time, to avoid the well-known blockchain trilemma [1], multi-blockchains can be used. Let us recall that the first multi-blockchains were announced back in 2017 by the brothers Nikolai and Pavel Durov in their “White Paper” for the TON project [2]. It turned out that it is at various levels of multi-blockchains that the necessary indicators for scalability, security and decentralization can be achieved. AI algorithms themselves can be considered as smart contracts that are executed on the blockchain substructures of a multi-blockchain, which ensures the security, correctness and transparency of all operations, training samples and decision making.

In addition to the problems of the “black box” and centralization for modern AI, the problem of AI auditing is becoming increasingly relevant, which is that even with access to AI algorithms, we cannot always check how an AI system based on training on large arrays makes decisions data. It is clear that competent analysis of such software solutions will require highly professional specialists, who, as a rule, are in short supply and who must be specially trained.

Due to the above problems, there is a danger that the AI system may make decisions that are either incomprehensible to the user or simply not justified. It is for this reason that eXplanable artificial intelligence (XAI) arose, requiring AI systems to be transparent and explainable in all the results they produce. Many countries are currently trying to put this requirement into legal form. For example, in September 2021, the US National Institute of Standards and Technology approved 4 principles of explanatory artificial intelligence [3]:

- Explanation: AI systems should provide explanations that are backed by evidence.
- Meaningful: Explanations should be meaningful in a way that can be understood by users of the AI system
- Accuracy: Explanations should be accurate in describing the AI system's process
- Boundaries: AI systems should operate within the limits that they were designed for

These principles were taken into account by the Chinese government, and already in April 2023, Beijing set a course for XAI [4]. China has automatically imposed restrictions on the AI development of all its AI companies. Now developer companies will be responsible for their AI solutions (including the actions of chatbots) if:

- original data source are illegitimate
- for all the results of issuing chatbots
- for content that would violate the basic principles of the Socialist Party
- for calls to overthrow the regime or actions that discredit the party.

In Russia, back in 2021, the national standard of the Russian Federation for trustworthy artificial intelligence was adopted (GOST R 59276-2020) [5]: "Artificial intelligence systems: ways to ensure trust," which provides a classification of factors affecting the quality and ability of AI systems to inspire trust at life cycle stages. And one of the main points of this document is the explainability of artificial intelligence. This standard applies only to AI systems that provide solutions only to specific practical problems and cannot be used for "strong" or "general" AI systems.

Considering such a huge interest in the problem of trust and explainability of AI, the authors of this work present to the public their original concept of constructing Trustworthy Artificial Intelligence (TwAI), which is based on a task approach to artificial intelligence [7-12], which to a certain extent generalizes such well-known and popular approaches, like agent-based approach and artificial general intelligence (AGI).

Note that the success and popularity of the agent approach, set out in the monograph [13], owes much to a well-chosen system of concepts, including various types of "agents" and "external environment". Various problems of artificial intelligence are considered in this approach as tasks of interaction between the "agent" and the "environment", which allowed its authors to carry out a detailed classification of agents, environments and, what is fundamentally important, the *tasks* they solve. Thus, the agent approach actually follows the task approach, but without explicitly defining the tasks solved by agents and indicating all the components inherent in the concept of "task".

Artificial General Intelligence (AGI), reviewed in [14], showed that modeling human cognitive processes is not a prerequisite for solving intellectual tasks.

Therefore, AGI reflects the fact that artificial intelligence, to one degree or another, can be possessed by both a person or a living organism with a highly developed central nervous system, and an abstract robotic system. Leading developers of AGI (Ben Goertzel, Shane Legge, Pei Wang) give the following definition of AGI: "it is the ability to solve cognitive problems in general, acting purposefully, adapting to environmental conditions through learning, minimizing risks and optimizing losses to achieve one's goals" [14] .

The purpose of this work is to show that the task approach to AI, generalizing and developing the approaches mentioned above, and at the same time being anthropomorphic in nature, since, based on the Theory of Functional Systems (TST) of brain function [15-20], allows adequate modeling of cognitive purposeful human activity, can become the conceptual basis of Trusted AI and the corresponding tools.

## 2. *Task approach and its mathematical theory*

### *2.1. Task approach*

The first attempts to give the concept of "task" a precise meaning were made by academician A.N. Kolmogorov back in the 30s of the last century, who used the concept of task to describe the mathematical semantics of intuitionistic propositional calculus [21]. The empirical Theory of Inventive Task Solving (TRIZ) also made a great contribution to the development of the task approach in relation to solving tasks related to the creation and development of technical systems [22]. However, the most substantiated, systematic and detailed description of the concept of the task approach was carried out by Academician Yu.L. Ershov and Doctor of Philology. K.F. Samokhvalov in relation to the problems of the foundations of mathematics [7-8].

#### **2.1.1.** *A task approach to the foundations of mathematics and AI*

The analysis of the concept of a task in relation to the foundations of mathematics begins with the following simple arguments formulated by K.F. Samokhvalov: "I'm thirsty" - what does that mean? There is, of course, no mistake in believing that the words "I'm thirsty" simply mean this, where this is a certain state of consciousness that I am experiencing now and which I call thirst. But then a new question arises: how is the feeling of thirst (wanting) related to the actual drinking (satisfaction of wanting)? How do I know that drinking can satisfy my thirst? Does the very experience of thirst contain the consciousness of how this thirst can be satisfied? … To know desire does not mean to know what is desired, but to be able to know what is desired," i.e. have a criterion for satisfying a desire.

Thus, the task is defined if and only if we have a criterion for solving the task - a criterion for checking whether the presented solution is really a solution to the task. In mathematical theories, such a criterion is considered to be the presence of a proof of the solution to the task. But this criterion is applicable only when, within the framework of the formal system itself, we have both a proof of the solution to the

task and the opportunity to verify by means of the system itself that this proof is indeed a solution to the task. In [7-8] it was proven that only in “weak” formal systems (for which Gödel’s theorem does not apply) can we use the formal system itself to determine whether some text is a proof of the solution to the task or not.

As a result, Hilbert's program for the justification of mathematics should be reformulated as follows: it is not necessary for all mathematics to prove its consistency, as was proclaimed in Hilbert's original program - this is impossible and unnecessary. It is necessary to formulate and solve tasks within the framework and means of appropriate weak formal systems.

**2.1.2.** ***The concept of “task” in artificial intelligence***

Let us now define the concept of “task”, aiming to consider the widest possible range of tasks, which is typical for such a direction as artificial intelligence. Let us first give an informal definition.

A task is defined if and only if its formulation contains:

- indication of the subject area, recorded in the form of a certain formal model, including a description of the signature and structure of the language (ontology), as well as knowledge about the subject area, including source data, facts and hypotheses;
- what request (question) formulated in the task for the subject area should we receive an answer to (solution to the task);
- criterion for satisfying a request - in which case it can be considered that an answer (solution) to a request (question) has been received;
- in what context should we look for an answer (solution) to a request (question) - what goal do we pursue when solving a task, i.e. what do we expect from the result obtained and what are its consequences and what to do if the answer turns out to be negative.

The proposed task approach assumes that the true purpose of artificial intelligence is to automate problem solving, assuming that tasks are formulated in terms of executable (declarative) specifications, discussed below. In addition, the concept of task we introduced, in contrast to AGI, as we will show below, adequately models the purposeful activity of humans and animals in accordance with TFS.

**2.1.3.** ***The concept of "task" in cognitive sciences***. A generalization of the task concept in cognitive sciences is the concept of a ***Goal*** [15-16,20]. The goal cannot be achieved without having a criterion for its achievement, otherwise it can always be assumed that it has already been achieved. Therefore, the formulation of the Goal should always include a criterion for the goal achievement. Achieving a Goal gives a certain ***Result***.

The only physiological theory in which the Goal achievement and obtaining a Result is considered as the brain's solution to the problem of satisfying a certain need is the ***Theory of Functional Systems*** by P.K. Anokhin [15-20]. This theory also reveals the physiological mechanisms of achieving the goal and solving this problem

by the brain. Anokhin wrote: "Perhaps one of the most dramatic moments in the history of studying the brain as an integrative education is the fixation of attention on the action itself, and not on its results ... we can assume that the result of the "grasping reflex" will not be grasping itself as an action, but that set of afferent stimuli that corresponds to the signs of the "grasped" object." The "totality of afferent stimuli" is the criterion for achieving the goal in the TFS. The goal in TFS is to satisfy some need: "Every need, even with a slight deviation of vital function from the optimal level for metabolism (which is what the need is), is immediately perceived by special receptor devices" (the criterion for achieving the goal).

According to P.K. Anokhin, the central mechanisms of functional systems providing purposeful behavioral acts have the same architecture.

**2.1.3.1.** ***Afferent synthesis***. The initial stage of a behavioral act of any degree of complexity is afferent synthesis, which includes the synthesis of motivational excitation, memory, situational and trigger afferentation.

***Motivational excitement***. Goal setting is carried out by the need that has arisen, which is transformed into motivational excitement.

***Memory***. Motivational excitement "extracts from memory" all possible ways to achieve the goal, as well as the entire sequence and hierarchy of results that must be obtained in order to achieve the goal in some specific way.

***Situational afferentation***. When the goal is achieved, the situation in which the result was obtained is also recorded. This situation is fixed as the necessary conditions along with the motivation required to achieve the result. Therefore, motivational excitation in this situation "extracts from memory" only those ways to achieve the goal that are possible in this situation. Thus, situational afferentation, when interacting with the experience extracted from memory, determines what and how can be done in this situation to achieve the goal.

***Trigger afferentation***. Trigger afferentation is also a situational afferentation, only related to the time and place of achieving the result. Trigger afferentation answers the question of where and when the result can be achieved.

**2.1.3.2.** ***Decision-making***. At the stage of afferent synthesis, by the motivational excitation can be extracted from memory (in a given setting) several ways to achieve the goal. At the decision–making stage, only one of these methods is selected - a specific action plan. By "pulling" all the accumulated experience from memory, motivational excitement is transformed into a ***specific goal*** that determines the way to achieve itself. A specific goal is called a "higher motivation" in the TFS.

**2.1.3.3.** ***The acceptor of the actions results***. Motivational excitement also "extracts from memory" the entire sequence and hierarchy of results that must be obtained for the implementation of the action plan. This sequence is called in the TFS the acceptor of the actions results. It is the dominant need (Goal) of the organism, transformed in the form of the anticipatory excitation of the brain, into a complex receptor of future reinforcement, which is the criterion for achieving a specific goal.

**2.1.3.4.** ***Reinforcement***. The sanctioning stage. If, as a result of the implementation of a specific action plan, the goal is achieved (the need is satisfied) and all the results of the action results acceptor are obtained, then the last sanctioned stage occurs in which the need is satisfied and the completed specific action plan is stored in memory.

**2.1.3.5.** ***Formal model of functional system*.** Based on the works [16-17,20,23] on the formalization of functional systems, a formal model was developed summarizing the basic properties of functional systems that:

1. uses a formal neuron model that detects causal relationships and is based on semantic probabilistic inference;

2. sets goals in purposeful behavior, forms a functional system and an acceptor of the results of an action, which continuously compare the results achieved with the results expected in the acceptor of the actions;

3. automatically generates sub-goals and reinforces the achievement of sub-goals if their achievement increases the likelihood of achieving the final goal;

4. selects an action in real time, taking into account the current situation and the afferentation received;

6. plans the achievement of the goal in accordance with the sequence and hierarchy of functional systems to achieve the final goal;

7. decides by decision-making on a certain way to achieve the goal.

The experiments conducted show the "naturalness" and effectiveness of the behavior of the received animates.

This model has been successfully used to model animates [20,23-25].

## 2.2. *Mathematical theory of task approach - semantic modeling*

Let us now move on to formal definitions. Let's define a language for task specifications based on the logical-mathematical theory of the task approach - semantic modeling. As the concept of the basic model of calculations, it is proposed to take the concept of ∑-definability of calculations [26], supplementing it with a procedure for checking the truth of ∑-formulas on a multi-sorted constructive model M, considered together with its list superstructure HW(M), and the concept of relative computability, allowing the use of oracles [27-32].

Let M be some set. Let us define by induction the set HW(M) of hereditarily finite lists over M:

$HW0(M) = \{\varnothing\}$;

$HWn+1(M) = HWn(M) \cup Lisp(HWn(M) \cup M))$;

$HW(M) = \cup\omega n=0\ HWn(M)$,

where Lispw(X) is the set of all finite lists consisting of elements of the set X.

Let $\mathcal{M}$ be a multi-sorted constructive model of signature σ, where M is the basis set of this model and let (HW(M)∪M) be the basis set of the extended model HW($\mathcal{M}$) of signature $\sigma^* = \sigma \cup \{nil, head, tail, cons, conc , =, \epsilon, \leq, U\}$, where the new

functional symbols have a natural interpretation of the list-operations, and the predicate symbols are interpreted as list-relations, where = is the equality relation of lists, $\in$ is the relation “to be an element of a list,” $\leq$ is the relation “to be the beginning list" and where U(HW(M)) = M. We will call the model HW($\mathcal{M}$) of extended signature σ* a superstructure of hereditarily finite lists for the model $\mathcal{M}$ or simply a list superstructure over $\mathcal{M}$. Next, we will consider the multi-sorted constructive model $\mathcal{M}$ together with its list superstructure HW($\mathcal{M}$) as a certain initial basic calculator, in which all signature entities are computable constructions. In addition, we also allow the possibility of enriching the signature σ* with additional predicate and functional symbols, some of which will be used as predicate and functional variables, and for the rest, certain external computable constructions, which we will further call oracles, act as their interpretations.

Terms and atomic formulas of signature σ* are defined in a natural way in our language. The class of Δ0-formulas of signature σ* is defined as the smallest class of formulas containing all atomic formulas and closed under $\neg$, $\wedge$,$\vee$, $\rightarrow$, $\forall x \in a$, $\exists x \in a$, $\forall x \leq a$, $\exists x \leq a$, where a is a term. Recall that here “$\in$” means “to be an element of the list”, and “$\leq$” means “to be the initial sublist”. We will further call expressions of the form $\forall x \in a$, $\exists x \in a$, $\forall x \leq a$, $\exists x \leq a$ restricted quantifiers.

Having the class of Δ0-formulas, we now define the class of $\sum$-formulas of signature σ* as the smallest class of formulas containing all Δ0-formulas and closed under $\wedge$, $\vee$, $\forall x \in a$, $\exists x \in a$, $\forall x \leq a$, $\exists x \leq a$ and the unbounded existence quantifier $\exists x$. Note that in our language we can quite correctly write formulas that have added limited quantifiers of the form “$\forall x=t$” and “$\exists x=t$”, where t is a term. It is easy to see that such expressions are logically equivalent in meaning to the assignment operator “x:=t” in traditional programming.

We will call a certain relation in HW($\mathcal{M}$) a $\sum$-relation if it is $\sum$-definable, and a $\Delta_0$-relation if it is $\Delta_0$-definable. A partially defined function is a $\sum$-function ($\Delta_0$-function) in HW($\mathcal{M}$) if its graph is $\sum$-definable ($\Delta_0$-definable).

Let us now introduce the concept of formula definability, which is very important for further presentation. Let some model $\Re$ = (R; $P^{n_0}_{m_0}, \ldots, P^{n_k}_{m_k}$) be given. We will say that a model $\Re$ is Σ-definable over HW($\mathcal{M}$) if there exists a Σ-definable subset S $\subseteq$ HW($\mathcal{M}$) and a map μ : S $\rightarrow$ R such that μ-prototypes of the images of the predicates $P^{n_0}_{m_0}, \ldots, P^{n_k}_{m_k}$ and =, as well as μ-prototypes of the images their complements are Σ–relations in HW($\mathcal{M}$) (usually with parameters). This definition can be correctly generalized to the case of models whose signature, in addition to predicate symbols, also includes functional symbols. The importance of this definition lies in the fact that it allows us to formally define a model of a certain subject area as a set of $\sum$-definitions of our language, i.e. as a set of $\sum$-formulas and $\sum$-terms. In this case, recursive schemes of $\sum$-definitions are allowed with some restrictions on the occurrence of defined predicates and terms in them. We will also define a query to a domain model as a $\sum$-formula, the recording of which can use

both signature constructions of the basic constructive model, as well as defined predicates and domain terms.

Let us present some facts that characterize the exceptional expressive and computational power of the concepts and constructions we introduced [28-31,33-41]:

● If the original model $\mathcal{M}$ is computable (polynomial computable), then its list superstructure HW($\mathcal{M}$) is also computable (polynomial computable).

● If the model $\mathcal{M}$ is polynomial computable, then in its list superstructure HW($\mathcal{M}$) the functions defined by the terms are also polynomial computable.

● If the original model $\mathcal{M}$ is computable, then in its list superstructure HW($\mathcal{M}$) $\sum$-relations are recursively enumerable, and $\sum$-functions are computable. This fact explains the content of the term "formula definability of computability".

● If model $\mathcal{M}$ is polynomial computable, then in its list superstructure HW($\mathcal{M}$) the truth of each $\Delta_0$-formula $\varphi(x_1, \ldots, x_n)$ is polynomial computable.

● For a decidable model $\mathcal{M}$ and its computable list superstructure HW($\mathcal{M}$), their theories are unfortunately undecidable.

● In the HW($\mathcal{M}$) model, for n-ary $\sum$–relations there is a universal (n+1)-ary $\sum$–relation $P^{(n+1)}(x; x_1,\ldots, x_n)$ such that for each $\sum$–relation $Q^{(n)}(x_1,\ldots,x_n)$ there is an element a such that $Q(x_1,\ldots,x_n) \leftrightarrow P(\mathbf{a}; x_1,\ldots,x_n)$. At the same time, there are no universal computable functions in the HW($\mathcal{M}$) model.

● Let $\varphi(x_1 , \ldots, x_n; Q+)$ be a $\sum$-formula with a positive occurrence of the predicate $Q(x_1,\ldots,x_n)$ and let the predicate Q be an n-ary relation in the list suspension HW($\mathcal{M}$). Let us define the operator G on HW($\mathcal{M}$):

$G(Q) = \{(a_1, \ldots, a_n)|\ HW(\mathcal{M}) \models \varphi(a_1, \ldots,a_n; Q+)\}$.

then the operator G is monotone and has a smallest fixed point that is $\sum$-definable. Let us note that it is this extremely important, the Gandy fixed point theorem that allows the use of recursive constructions in the formal definition of subject areas. At the same time, it is often advisable to look at the predicate symbol Q+, which is positively included in the $\sum$-formula $\varphi(x_1 , \ldots, x_n; Q+)$, either as a recursively defined predicate, or as a call to an oracle, thereby allowing in our concept of semantic computability the so-called relative computability is an exceptionally powerful tool for modeling, particularly complex hierarchical structures.

In practice, it is proposed to limit ourselves to the class of $\Delta_0$-formulas. Note that with the help of $\Delta_0$-definitions, we can significantly increase the expressive power of our source language by introducing the so-called conditional and recursive $\Delta_0$-terms [34-35]. So, for example, if $\varphi$ is a $\Delta_0$-formula, and $t_1$ and $t_2$ are terms, then the triple $(\varphi,t_1,t_2)$ is a conditional $\Delta_0$-term, the interpretation of which is the following computational scheme: if $\varphi$ is true, then the term $t_1$ is executed , otherwise – term $t_2$. Using various iterative and recursive computation schemes, recursive terms are defined in a similar way [35]. The language of $\Delta_0$-definitions, enriched with such constructions, appears as a very expressive logical-functional modeling language.

And what is very important is that such enrichment preserves the original polynomial computability. Moreover, it has been shown that under certain conditions the converse is also true - every polynomial computable function is $\Delta_0$-definable [39]. To do this, we will use a more practically acceptable language for specifying problems in the class of $\Delta_0$-formulas. We will say that problem P can be represented formulaically in HW($\mathcal{M}$) if:

- the subject area can be specified in the form of a $\Delta_0$-model P of the signature of the list superstructure HW($\mathcal{M}$), i.e. as a set of $\Delta_0$-definitions (recall once again that recursive $\Delta_0$-definitions are allowed);

- a request to the $\Delta_0$-model P is specified either in the form of a $\Delta_0$-formula φ, or in the form of a $\Delta_0$-term t.

- as a response to a request (i.e. a solution to problem P):

- if the query to the $\Delta_0$-model P has the form of a $\Delta_0$-formula φ, then specifications of free variables φ are sought for which the formula φ is true,

- if the request has the form $\Delta_0$-term t, then the value of $\Delta_0$-term t is calculated.

Here it is important to emphasize that the truth of the $\Delta_0$-query formula obtained by substituting constants instead of variables is the criterion for solving Problem R. Note that there may be several sets of constants that make the $\Delta_0$-query formula true and therefore it is possible to choose one that is, in the sense of the “best” solution, taking into account the context of solving the problem. In this case, the criterion for solving problem P must also contain a criterion for choosing the best answer to the query. This approach to formulating and solving problems is called semantic modeling. It is important to note that the formalism described above can be naturally extended by introducing probabilistic and fuzzy constructions.

### 2.3. *Inductive knowledge inference on the domain model*

It was defined in [41-46] that the subject domain is empirical system $\Im = \langle A, \Omega \rangle$, where A is the objects of the Subject Domain (SD), and Ω is ontology, represented by the set of relations and operations interpretable in the notion system of SD.

In [47] it noted that "Knowledge is perceived, realized and personally significant information". Therefore, for the inductive inference of knowledge, it is necessary for a human to understand and interpret the SD ontology.

Inductive inference of knowledge on SD that carried out by any machine learning method, must correctly to process objects properties and attributes in order to obtain knowledge in terms of ontology. It should be noted that the numerical values of the quantities themselves do not contain knowledge and information, because the meaning of the quantities is indicated in their interpretation, for example, 5 meters, 5 liters, 5 kilograms, etc. Interpretation, in particular, determines which mathematical operations can be meaningfully carried out with them. It is worth noting that physical quantities measured in a subject domain, other than physics, lose their original physical interpretation. Consider, for example, such a physical quantity

as temperature. Temperature scales in non–physical areas, for example, when measuring the patient's body temperature in medicine, soil temperature in agriculture or air temperature in the oven in cooking, etc., should be different, although they can be measured with the same device – a thermometer. A scale of some magnitude, from the point of view of measurement theory, is a set of relations and operations that it makes sense to perform with numerical values of quantities in a given subject domain, i.e. these are relations and operations that are interpreted in SD ontology.

It may be objected that a thermometer can measure nothing but temperature. He really measures physical temperature in all cases. But temperature, like any other device, is needed to obtain conclusions (knowledge) in the SD ontology to which it belongs. The patient's physical temperature is an indirect measurement of a medical quantity – the level of metabolism. For soils, temperature is interpreted in terms of plant physiology and microbial activity. Physical temperature in other SD is an indirect measurement of some not physical quantity interpreted in the SD ontology. What relations and operations on numerical temperature values that make sense for these quantities are already determined by the ontologies of the SD. Thus, in order to extract information from attributes and quantities of SD, it is necessary to define a set of mathematical relations and operations interpreted in the ontology Ω and include them in the ontology Ω of the subject domain $\Im = \langle A, \Omega \rangle$.

Let us consider the problem of the theory Th($\Im$) discovery. We will assume that the theory Th($\Im$) is a set of universal formulas (a more general case is considered in [47]). It is known that a set of universal formulas is logically equivalent to a set of rules of the form:

$$\forall x1,x2,\ldots(A1\&...\&Ak \Rightarrow A0),\ k \geq 0, \qquad (1)$$

where A0,A1,...,Ak are literals. Therefore, we can assume that the theory of Th($\Im$) is a set of rules of the form (1).

It is not difficult to see that the rule C = (A1&...&Ak ⇒ A0) logically follows from any sub-rule of the form: (Ai1&...&Ain ⇒ A0), where {Ai1,...,Ain} ⊂ {A1,...,Ak}, $0 \leq h < k$, that is: (Ai1&...&Ain ⇒ A0) ⊢ (A1&...&Ak ⇒ A0). Then the theory Th($\Im$) can be simplified. By the *law* of the empirical system $\Im = \langle A, \Omega \rangle$ we will call a true rule C of the form (1), for which each of its sub-rules is no longer true on $\Im$. Then it is true that L ⊢ Th(M) [16,48]. Then the theory of Th($\Im$) can be considered as a set of laws of an empirical system.

Let's define the probability η on the empirical system $\Im = \langle A, \Omega \rangle$ as on the model [49]. The probabilistic law on $\Im$ will be called the rule (A1&...&Ak ⇒ A0) the conditional probability $\eta(A_0\&A_1\&...\&A_k)/\eta(A_1\&...\&A_k)$ of which is defined ($\eta(A_1\&...\&A_k) > 0$) and strictly greater than the conditional probabilities of each of its sub-rules. The *Strongest Probabilistic Law* (SPL) will be called the probabilistic law C, which is not a sub-rule of any other probabilistic law.

Inductive inference of probabilistic knowledge on the SD $\Im = \langle A, \Omega \rangle$, is carried out by the following semantic probabilistic inference.

The Semantic Probabilistic Inference (SPI) of some strongest probabilistic law Cn predicting some fact G, we will call the sequence C1 ⊏ C2 ⊏.. ⊏ Cn, Ci = (Ai1&…&Aiki ⇒ G) of probabilistic laws, for which the Ci is a sub-rule of Ci+1 and $\eta(Ci) < \eta(Ci+1)$, i = 1,2,...n-1.

We need knowledge for predictions. Let us define SPL that solves the problem of statistical ambiguity [48,50] and predict without contradictions.

Let us consider the set of all SPLs that predict some fact G. This set can be viewed as semantic probabilistic inference tree of G.

By the *Most Specific Probabilistic Law* (MSWZ(G)) of the infeernce of some fact G we will call the SPL, belonging to some semantic probabilistic inference tree of G, having the maximum conditional probability value among all the rules of that tree. The set of all MSWZ(G) for all literals G ∈ Ω we denote as MSZ.

It was proved that L ⊂ MSZ [41,47-48] and therefore the set MSZ of laws generalizes the theory Th(ℑ). In addition MSZ is logically consistent [47-48,50] and therefore it is in exact sense a probabilistic theory of the domain ℑ = ⟨A, Ω⟩. It can be proved [47-48,50] that predictions obtained by the inductive statistical inference according to the laws from the MSZ are consistent.

This theory of the inductive inference of knowledge on the SD ℑ = ⟨A, Ω⟩ is implemented as a platform and software system "Discovery", described below. By this platform a lot of practical tasks were solved (see http://old.math.nsc.ru/AP/ScientificDiscovery/index_rus.html).

### 3. *Platform solutions for task approach*

Currently, semantic modeling, as one of the concepts for automatically solving intellectual problems, is based not only on the methodology and theory of the task approach, but also has at its disposal a developed toolkit aimed at supporting and maintaining the following technological scheme for solving intellectual problems:

- STEP 1. The emerging need is clarified, the associated contradiction associated with the lack of a “template” way to satisfy this need is identified and studied. Let us note that this contradiction, in its essence, is the true cause and content of the problem being solved. Next, a criterion for successfully overcoming the identified contradiction is formulated in natural language (a prototype criterion for solving a problem), if necessary, a decomposition of the contradiction/task is carried out and the context of the problem is determined (why, why, the nearest supertask, subtasks, purpose and consequences of solving/not solving the problem, etc. .).
- STEP 2. The general knowledge relevant to the problem is described in natural language, an ontological model of the problem domain is constructed (concepts, facts, rules, relationships, ...), and a class of queries to the problem domain is formulated in general and ontological terms.
- STEP 3. In logical-probabilistic terms of semantic modeling, a formal model

of the problem domain of the problem is constructed and the query and solution criterion are formulated in the same formal terms.

● STEP 4. Within the framework and means of the corresponding semantic modeling tool platform, a computer model of the problem is built.

● STEP 5. Using a computer model, answers to queries are found. The feasibility of the decision criterion, the validity and/or explainability of the answers and their interpretability are checked.

As for the technological tools for semantic modeling, several platform solutions have been created and are actively being developed.

### 3.1. *Platform D0SL*

An example of the successful application of the task approach and its logical-mathematical theory – semantic modeling is the semantic platform **D0SL**, which represents the next generation of the so-called Business Rules Engines (BRE) [ www.d0sl.org ]. D0SL, just like the usual BRE platform, allows you to implement the business logic of the system using the language of declarative logical specifications. The project of creating the D0SL platform was carried out under the leadership of V.S.Gumirov.

The d0sl platform allows you to control the logic of the behavior of complex systems using the d0sl language, understandable to a specialist in the subject area. The platform has a wide range of applications – from enterprise business processes to project management or the behavior of autonomous systems, including artificial intelligence systems and the Internet of Things. Note that the d0sl language is easily extended by functions and objects specific to a particular subject area. Moreover, d0sl itself is a domain-specific language (DSL). The existence of an extension mechanism at the d0sl language level allows you to build a hierarchy of DSL languages that can be converted to d0sl and, therefore, can be executed by the d0sl kernel.

As for applications, the d0sl language is actively used in processing transactions and system events in telecommunications, fintech and banking, which makes it easy to change and configure the business logic of the applications being created. The use of the d0sl platform has proved particularly effective in the digital transformation of enterprises, allowing for the rapid and high-quality development of autonomous decision support systems, predictive analytics systems, modeling and digital counterparts of various objects, including the organizations themselves.

It should be noted that the d0sl language is one of the main technological tools of the Eyeline Mobilizer open platform, designed for the development and operation of services with support for mobile devices on all types of platforms, including USSD/SMS/SS7, smartphones (Android, iOS), mobile Internet [www.eyeline.ru ]. Using the Eyeline Mobilizer platform, solutions have been developed and projects have been implemented in the field of telecommunications, mobile marketing and advertising, finance, banking services, municipal management and mobile payments.

Currently, solutions and services based on the Eyeline Mobilizer platform serve tens of millions of mobile device users. The platform allows you to significantly reduce the cost of developing and operating mobile solutions for your business. Examples of successful implementations are: USSD services for MTS (*100#, *111#, etc.) and the USSD portal Alfa-Click *142# Alfa-Bank (Russia), InnomaNet/T-mobile (Russia), WATAGO Africa (all the largest mobile payment systems in Nigeria), the project "Parking" of the Government of Moscow (Russia), missed call notification system, Yellow Pages/SMART in the Philippines, cloud installation for customer service GlobalUSSD.com , Beeline Russia (direct money). transfers) and much more.

### 3.2. *The bSystem Platform*

bSystem is a platform for building digital twins of organizations and processes. It has been developed by the research group of A.V. Mantsivoda for several years. The platform is focused on creating intelligent management systems for large business ecosystems, digital transformation of enterprises and other integrated solutions. Thanks to a unified semantic modeling environment, bSystem integrates the basic level of ontologies with the inductive logical-probabilistic knowledge inference and the semantic probabilistic inference of predictive rules/decisions suggested by E.E. Vityaev, on the one hand, and with classical programming, on the other.

So, the architecture of bSystem is based on the integration of three levels
logical-probabilistic
analytical/ontological
operational/transactional.

The ontological level [51-52] controls the main parameters of the simulated organization, reflects the current state of its components and connections between them, provides analytical tools for making decisions at the operational level (e.g., business intelligence tasks). This level forms the core of the platform; here ontologies are managed – the basic domain knowledge systems around which all activities are built.

The level of logical-probabilistic inference (LPI) is built over this core level. It implements the functionality of explainable artificial intelligence. Within the platform, LPI is responsible for strategic issues of forecasting, decision-making and other AI tasks. Its value for bSystem lies in the fact that, unlike neural networks, which (within the learning process) “accumulate” numerical coefficients in neurons that do not have a semantic interpretation, LPI – while learning – generates probabilistic logical theories (sets of patterns) that semantically describe the domain of discourse. These theories secure the ability of the LPI to explain its decisions. Potentially, this also provides “self-control”, that is, the ability to evaluate the advantages and disadvantages of generated knowledge with logical meta-tools. Such capabilities are unattainable for neural networks.

The lower operational-transactional level is the level of procedures and methods that change the logical environment over time. At this level, bSystem runs Libretto, an object-oriented language. From the task-approach viewpoint, the operational-transactional level forms the environment for the task-life-cycle management. Any business process controlled at this level is nothing but the process of solving a task in real time (in practice, an instance of some generalized task). Usually, a digital twin unfolds over time through a bunch of actively interacting tasks, the generation of new instances of tasks and the completion of tasks that satisfy the solution condition. And while the declarative description of a task and the criterion for its solution are controlled at a higher ontological level, the solution process itself is carried out at the operational level as a chain of transactions. At the same time, the business processes themselves are also represented as ontology objects, and this allows the platform to control the solution process at a declarative level. Thus, bSystem, through the interaction of the ontological and operational levels, provides a full implementation of the task approach.

The key feature of bSystem is that all its three levels are embedded in a single semantic space, they interact with each other and provide vertical scaling. This integration brings a powerful synergistic effect, not only helping to improve quantitative indicators (due to seamless interaction where a zoo of various information technologies is usually used), but also allowing for a qualitative change. For example, such integration makes it possible to implement a fundamentally new low-code technology, so-called object low-code, based on automatic code synthesis from ontology data [53]. This fundamentally distinguishes it from traditional procedural low-code, based on diagrams - variations of the BPMN specification [54].

Ontologies are the core tool that ensures the integrity of the bSystem digital environment. Actually, a digital twin is an ontology or a network of ontologies that plays the role of the semantic modeling basis, which defines the described domain, as well as the tasks to be solved.

An ontology also can be considered as a hub that ensures the interaction of various components of the digital twin. At the logical-probabilistic level, ontologies play the role of empirical systems, which contain *a priori* knowledge, and from which information for learning is taken. At the core – analytical-ontological level – ontology is the semantic basis for the digital twin, a source of information for analytical manipulations. Finally, at the procedural level, the ontology serves as a data type system for the platform programming language - Libretto.

Finding a suitable architecture for ontologies appeared to be a hard problem. Suffice it to say that bSystem was the sixth (and only the first quite efficient) attempt to build an ontology management platform of this kind. To understand better what kind of ontologies we really need, we had to develop a system of requirements that an ontology must satisfy. Below we list some of them.

First, as noted above, ontologies are responsible for ensuring vertical

connectivity and a unified semantic space of the platform. Knowledge from the ontology must have an efficient interpretation at all levels of bSystem: in sophisticated logical/probabilistic inference, in analytical modules (e.g., in business intelligence), as well as in software that solves traditional algorithmic problems.

Secondly, users should be able to work with ontologies even if they lack an understanding of mathematical logic (difficulties in understanding were one of the key barriers responsible for the failures of the well-known Semantic Web concept [55]). Since an ontology provides the basic knowledge about a domain during the interaction between people and the platform, if people do not understand the ontology, everything else becomes meaningless. Therefore, constructing an ontology that provides an intuitive understanding, which is consistent with the user's everyday experience, is also a must.

Further, the ontology must provide a standardized mechanism for interaction with external ‘oracles’ (information systems, neural networks, the Internet of things). For example, collecting data from controllers installed in a residential complex is inevitable for the proper functioning of its digital twin. For interacting with the outer world, an ontology must be equipped with logical analogues of well-known program interfaces (APIs).

Finally, if we want our ontologies to be practically useful, they must be efficient. This means that high-level ontologies must have implementations comparable in productivity to relational databases. An ontology must be able to manage millions of entities and provide answers to queries of practical complexity in real time.

Combining all these requirements within a single formalism turned out to be quite a difficult task (for example, ontologies based on the well-known OWL language [56] do not comply with several of them). While experimenting, we found that ontologies that are based on the ideas of object modeling are most suitable for these requirements.

The basic feature of object models is that they clearly have two layers - declarative and procedural. The first one consists of classes, objects and fields (properties) of objects. The second provides methods that are defined at the class level and acting on objects. Since ontologies are formal descriptions of the basic concepts, facts and relationships of a domain, and object models deal with similar tasks in programming, the declarative layer of object models can serve as an adequate background for an ontology. Moreover, the essence of object models is very intuitive, natural and familiar to people. This is proven by the widespread use of object-oriented languages like Java. Therefore, it is quite possible to take the declarative layer of object models and, by giving it strict logical semantics, turn it into a variant of ontology.

As for the procedural layer, object-oriented languages are usually Turing-complete and this makes the situation far less controllable. On the other hand, the presence of a procedural layer makes it possible to implement the idea of developing

an ontology over time and managing its life cycle. From this point of view, the application of each method or group of methods can be considered as a transaction that transfers the ontology from one state to another [57]. This capability is especially useful when solving management problems, since such an interpretation naturally defines business processes as transaction chains in the life cycle of ontologies [58].

So, to turn object models into ontologies we need to perform the following steps:

1. Define a logical formalism corresponding to the declarative layer of the object model. To do this, we use the mechanisms of Δ0-definability of semantic modeling.

2. Traditional object models are short-lived; they are usually stored in RAM. We need to make them persistent because ontologies are long-term repositories of data and knowledge. This provides them with object database functionality.

3. To work with an ontology, we need a query language that combines logical expressiveness with efficiency comparable to that of SQL in relational databases. In bSystem, the declarative core of Libretto, which has strict logical semantics, is used as such a query language.

4. To provide mechanisms for changing and developing the ontology over time, we reformat the procedural level of the object model into a transactional model.

5. Practice has shown that object-life-cycle management tools significantly enhance functionality compared to traditional object models, which is especially useful for business process management. By using transactional mechanisms, we get more control over the life cycle of objects.

6. The final step is to achieve ontology autonomy. An ontology is folded into a ‘cocoon’, isolated from the outside world, with which it now communicates only through a strictly regulated interface (analogous to a programmer’s API).

From the viewpoint of the task approach, step 5 implements two-level management of the task's life cycle, which is executed at the lower operational level and semantically controlled at the ontological level.

The final step implements the concept of local simplicity [52] as the construction of arbitrarily complex systems as networks of relatively simple ontologies with logically based interaction mechanisms. This allows for free horizontal scaling when building digital twins.

From an IT point of view, the second and last steps transform an object ontology into a microservice [59], since they provide two main properties of a microservice - the data storage autonomy (this is our ontology) and strict control over interaction channels with the outside world. This also determines the general architecture of digital twins, which are built on the top of bSystem.

bSystem provides us with a brand-new development methodology [60]. Due to its openness, modeling fundamentally changes the mechanisms of interaction between participants at the development and operation stages. The ontology is directly available for all participating competencies. For example, the customer

receives full control over the development process and can provide early feedback with immediate detection of problems. The high-level model, due to its strict logical semantics, simultaneously serves as a specification and executable documentation. This fundamentally differs from the black box of software code.

### 3.3. *DISCOVERY Platform - an ontological approach to inductive knowledge inference*

As it was mentioned, E.E. Vityaev developed an ontological [6,42,50-51] approach to knowledge discovery methods and the corresponding program system "Discovery". This approach is designed to discover knowledge from the information extracted from data and presented as an empirical system SD $\Im = \langle A, \Omega \rangle$. The Discovery system has the following advantages over other machine learning methods:

1) removes restrictions from the data types by using information extracted from the data in terms of ontology Ω;

2) removes restrictions from a priori knowledge by representing it in Ω;

3) removes restrictions on the tested hypotheses classes by specifying them by the knowledge classes (Rule Type) defined in Ω;

4) the Discovery system detects the following types of patterns:

• the set of laws L and the theory Th($\Im$) of the empirical system $\Im$;

• the set of probabilistic and strongest probabilistic laws;

• the set of maximally specific laws predicting without contradictions [48,52];

In the ontological approach, discovered knowledge is complete in two senses: (1) in the sense of completeness of extracted information from data by the use of ontology and measurement theory; (2) in the sense of completeness of discovered knowledge in the form of sets of rules a)-c);

Existing machine learning methods are not able to support data exploration mode when the detected pattern is unknown in advance. Each machine learning method reveals its own quite specific class of hypotheses corresponding to its ontology. The "Discovery" system can discover an arbitrary class of hypotheses that an expert can set, and thus is able to support the data research mode when the hypothesis class may change during the research process.

The Discovery system discovers knowledge in terms of SD ontology. Interpretability of patterns can be very important when making responsible decisions in areas such as medicine, finance or military applications.

The Discovery system was used to solve many problems in financial forecasting [6,42], bioinformatics [64], medicine [65], fraud analysis [66] and many others.

### 3.4. *Delta-platform*

As mentioned in the Introduction, one of the pressing problems of modern AI, in addition to the well-known ***"black box" problem***, is the so-called ***centralization***

***problem***, which means the emergence of a tendency to concentrate power and control over AI in the hands of a small number of legal entities. To solve this problem, in the Introduction it was proposed to use the experience of using decentralized solutions from the field of cryptocurrencies. At the same time, it was proposed to consider the AI algorithms themselves as smart contracts that are executed on the blockchain substructures of a multi-blockchain, which would ensure transparency of all operations, transparency of the training sample and transparency of decision-making. And finally, the requirement was put forward for polynomial computability of AI algorithms, which has obviously practical significance. In general, the task was to create a polynomial computable (in all senses) system of trust semantic modeling. But it took several years of serious research to begin to solve it practically.

Conditional terms introduced in 2017 by S.S. Goncharov [34] made it possible to understand that terms can be not only standard terms of first-order predicate logic, but also other, correctly defined syntactic constructions. This allowed S.S. Goncharov and D.I. Sviridenko in 2019 to introduce such termal extensions as bounded recursive terms, B-while terms, iterative terms, etc. [33] and show that all these termal extensions do not go beyond polynomiality. But the problem of p-completeness of these extensions was never solved by them. However, already in 2022, S.S. Goncharov and A.V. Nechesov found the final syntactic construction, which completed the construction of the p-complete semantic modeling language L [39]. A little earlier, in 2021, they also proved a polynomial analogue of Gandy fixed point theorem [36], which said that within the framework of a certain $\Delta_0$-system it is possible to find such conditions on formulas that the classical result of Gandy fixed point theorem becomes valid and for this system. Moreover, which is very important, in this system the smallest fixed point of the constructed operator will be p-computable. This gave an even greater impetus to the further development of the semantic programming language L and to the development of the formal $\Delta_0$-system.

Note that the polynomial analogue of Gandy fixed point theorem allows us to immerse any inductively specified syntactic constructions inside a formal system, offering both encoding and means of assessing the complexity of such storage. This allowed S.S. Goncharov, D.I. Sviridenko and A.V. Nechesov to describe an object-oriented version of the p-complete semantic programming language L* [40] and begin to develop a special framework - the Delta platform, which incorporated, including all the necessary functionality for solving the above mentioned ideas: multi-blockchains, smart contracts and the language L* based on the p-complete logical language L. At the same time, at different levels of multi-blockchains, if necessary, you can set different levels of user access, set the levels of transparency of both the blockchain itself and the smart contracts executed on them. Due to the fact that smart contracts are programs of a special type in the p-complete language L*, this significantly reduces the level of labor costs when auditing them. In the language L* itself, it is possible to describe the operation of both neural networks [61] and

blockchains [62], which is undoubtedly an advantage, since it does not require any external software for their implementation.

From the point of view of the problem approach in the p-complete language L*, we can not only describe the problem itself, but also solve it within the framework and means of the same language. Due to the fact that our base is blockchain, decentralized solutions are built quite simply. The most secure and decentralized one, for example, the Bitcoin or Ethereum blockchain, can be chosen as the top-level blockchain. Blockchains at lower levels may not have decentralization and can be used as a regular database, including on the home computer of one of the users. And since there will be no need to reach any consensus with other blockchains, this will entail a high write speed.

We would like to note that the creation of the Delta platform in integration with predictive systems such as Discovery can give a powerful impetus to the construction of AI algorithms, which by their nature are close to artificial general intelligence (AGI) algorithms, which ensures both high self-learning of such systems, and the high level of trust that ordinary users have in them. In this combination of the above-mentioned possibilities, we see the implementation of the main provisions of the task approach, when AI systems can solve both the tasks assigned to them and independently formulate new tasks that were not explicitly stated in the AI algorithms. All this allows us to talk about the possibility of building a trusted “general” AI within the framework of a task approach.

## 4. *Conclution*

This article can be considered as a kind of report on the results of research in the field of the task approach and its practical applications carried out by the team of authors of the article, their students and colleagues, which were started back in the 70-80-ies of the last century. Over the years, a lot of work has been done on the development and practical application of the provisions of the task approach in relation not only to various problems of the foundations of mathematics and AI, but also to such areas as cognitive sciences, neurophysiology, medicine, digital transformation of enterprises, automation of the design of complex systems, digital twins, etc. As can be seen from the above, it was possible not only to significantly develop the methodological and mathematical provisions of the task approach, but also to create its effective instrumental and technological base, which made it possible to successfully solve a wide range of tasks from various fields: telecommunications, business, retail, fintech, genetics, geology, cybersecurity, robotics, medicine, etc. On the agenda is the creation of a trust–based "common" AI. And as the experience of previous years shows, there is every reason that such an AI will be created in the near future. Including within the framework and by means of the task approach.

**摘要：**本文介绍基于任务方法的可解释、可信人工智能的基本概念，目的是阐述人工智能的任务方法可以概括和开发其它著名的诸如基于智能体智能和通用人工智能方法。此外，不同于通用人工智能(AGI)，任务方法是拟人化的方法，因为它将脑功能的生理功能系统理论形式化[15-20]，用于描述目的性人类活动。

为了在实践中有效实施任务方法，本文介绍几种可执行的任务描述语言，通过这些语言对任务的描述和解释，可以生成解决问题的可执行代码。任务的描述与特定的应用领域有关，完成这些任务需要先产生面向应用领域的查询，再执行查询搜索答案，最后得到问题的解。这些操作在本项目研发的一个语义建模框架内完成。

本文介绍用不同任务描述语言开发的解决应用问题的几个平台和解决问题的实例，并给出本项工作的结论。

**关键词：**人工智能，任务方法，可信问题

## 1. 绪论

ChatGPT 革命关联的事件开辟了人工智能的一个新世界，不仅充满了多种可能性和新的辉煌前景，也给人工智能应用带来新的风险和危害，产生不可控的结果。人工智能的题目已经变得极其时髦和流行，不仅在专家和专业人员之间热烈地讨论，也在包括政府部门在内的很多圈子中热议。人们讨论人工智能飞速发展的一个中心问题是人工智能系统的可信问题。这一问题实际反应了社会对人工智能现状的认知，即：当代人工智能系统不能保证它给出的问题解的正确性。人们已经认识到人工智能系统的决策可能不真实、不对、不正确、不精确、故意误导等。

人工智能可信的问题是一个复杂问题，众多问题的纠结是人们是否相信人工智能算法。本文只触及其中的一些问题，也就是黑箱问题、中心化问题和审计问题。根据作者的理解，这些问题的解决可以显著提高人们对人工智能系统的信心。

让我们回顾一下，黑箱问题指的是某些人工智能系统对某一问题生成的解不能给出任何解释。更严重的是，终端用户对这种人工智能系统产生的结果通常在任何条件下都不能进行确认，或者对结果的确认非常复杂，需要大量的资源和人力成本。要完全解决所关心的问题，只让人工智能系统产生结果的机理透明是不够的。同时，还需要提高这些系统的用户能力。毕竟，人工智能系统服务的高需求量是用户支撑的，而这些用户不关心黑箱问题。此外，即使同一神经网络的算法是透明的，形成的结果也需要专门程序给予解释，给出的正当理由也不足以使普通的不熟练用户相信和理解。这种现象在具有百亿参数、

大量权重系数和激活函数的人工神经网络特别突出。在这种情况下，似乎有必要使用逻辑方法和逻辑规则检查结果，不仅使结果可信，也可以给用户解释生成结果是怎样考虑的。

现代人工智能的另一个重要问题是所谓的中心化问题，指的是当出现紧急状况时，人工智能系统的控制权集中在少数法人手中。这一状况对人工智能领域的发展和创新有极大地负面影响。此外，集中控制的系统，如 ChatGPT，可能产生错误的系统设置，进而引起严重的后果，伤害系统最终用户和社会总体。解决这一问题，建议采用非中心化解决方案的优点。一个案例是加密货币采用的区块链技术。当今世界最稳定的计算机网络是比特币区块链网络，从 2009 年 1 月 3 日启动以来一直稳定运行。原理上讲，如数据库适合存储信息相同，区块链可能更适合人工智能解决方案。同时，可以采用多区块链来避免区块链著名的三重困境[1]。让我们回忆一下，最早的多区块链概念是 2017 年由 Nikolai 和 Pavel Durov 兄弟在他们的 TON 项目白皮书中提出[2]。事实证明，采用不同层次的多区块链，可以实现可扩展性、安全性和去中心化多种必要的指标。人工智能算法本身可以作为智能合约在多区块链的区块链子架构上运行以确保所有操作、训练数据集和决策的安全、正确和透明。

除了黑箱和中心化问题外，当代人工智能的另一重要问题是审计问题，逐渐变得越来越相关。审计问题是：尽管可以访问人工智能算法，我们不能核查一个基于大数据训练的人工智能系统是怎样做决策的。很清楚，对于这种软件解决方案的能力分析需要专业能力强的专家。通常，这样的专家奇缺，必须专业培训。

由于上述问题，人工智能系统做出的决策存在一种风险--用户无法理解，或者用户无法判断。由于这个原因，出现了可解释人工智能（XAI），要求人工智能系统产生的结果透明并可解释。当前，许多国家正在试图把这一要求立法。例如，2021 年 9 月，美国国家标准与技术研究所批准了可解释人工智能的 4 项原则[3]：

- 可解释性：人工智能系统需要提供有证据支持的解释。
- 意思明确：提供的解释必须意思明确，可以被人工智能系统的用户理解。
- 解释精准：提供的解释必须精准地阐述人工智能系统的决策过程。
- 界限清晰：人工智能系统必须在它的设计范围内工作。

这些原则已经被中国政府考虑，放入 2023 年 4 月发布的可解释人工智能北京路线图。中国已经对所有人工智能公司开发人工智能施加了限制。开发公司必须对他们开发的人工智能应用承担如下责任（包括开发聊天机器人）：

- 非法获取原数据
- 聊天机器人谈的所有话题内容

- 内容违反社会的基本道德准则
- 号召颠覆政府或污蔑党的行动

俄罗斯在2021年发布了俄罗斯联邦可信人工智能国家标准(GOST R 59276-2020) [5]。标准限定：“人工智能系统要有确保可信的方法”。标准对影响人工智能系统的能力和品质的因素做了分类，鼓励在生命周期不同阶段保证可信。这一文件的重要一点是人工智能的可解释性。这一标准只限于对具体的应用问题提供解决方案的人工智能系统，不能用于强人工智能系统或通用人工智能系统。

考虑到对于人工智能可信和可解释问题的极大兴趣，本文作者在此公开阐述他们对构建可信人工智能(TwAI)的最初概念，这些概念基于人工智能任务方法[7-12]，在一定程度上，这一方法是对其它著名流行方法的概括，如：基于智能体方法和通用人工智能（AGI）。

注意。专著[13]提出的智能体方法的成功和流行，很大程度上归功于系统概念的选定，包括各种类型的智能体和外部环境。在这一方法中，人工智能的各种问题被认定为智能体与环境的交互任务，允许作者对智能体、环境和要完成的任务做详细地分类。其中，对任务的分类尤其重要。因此，智能体方法实际上是遵循了任务方法，但是没有明确定义智能体要完成的任务，也没有指定内涵任务概念的所有组成部分。

文献[14]综述的通用人工智能指出，对人类认知过程建模不是解决智力任务的前提。因此，通用人工智能只反映这样的事实，在某种程度上，人类或具有高度发展的中央神经系统的其它生命体，以及抽象的机器人系统，都能够具备人工智能。通用人工智能领域的领军开发者（Ben Goertzel, Shane Legge, Pei Wang）对通用人工智能给出如下定义：一般来讲，通用人工智能具有解决认知问题的能力，能够有目的地响应，通过学习自适应环境条件，能够使风险最小化和损失最优化，并达到最终目的[14]。

本文的目的是介绍人工智能的任务方法，它可以用于概括和开发前面提出的其它方法，同时具有拟人化的特质。基于脑功能的功能系统理论[15-20]，人工智能的任务方法可以对人类目的性的认知活动建立充足的模型。因此，任务方法可以作为可信人工智能和相应工具的概念基础。

## 2. 任务方法及其数学理论

c. 任务方法

最早给出任务精准概念的人是A.N. Kolmogorov院士。在上个世纪30年代，Kolmogorov院士就用任务概念来阐述直觉命题演算的数学语义 [21]。伴随着求解任务技术系统的产生和发展[22]，创意性任务求解的经验理论对任务方法的发展贡献极大。但是，对任务方法给出最具体、系统和详细描述的人是

Yu.L. Ershov 院士和文献学博士 K.F. Samokhvalov，他们在研究数学基本原理的问题时用了任务方法概念[7-8]。

2.1.1 数学基本原理和人工智能中的任务方法

数学基本原理中任务概念的分析起始于 K.F. Samokhvalov 对下面简单论点的形式化定义：“我口渴了” 这句话是什么意思？当然，相信“我口渴了”这句话的确切意思是没有错误的，这是我们正在经历的我们叫做“口渴”的一种确定的共识状态。不过，一个新的问题出现了：对比你口渴了（有想喝水的愿望）和你喝了水（愿望满足），口渴的感觉是怎样的？怎么知道喝水可以满足口渴的愿望？口渴的经历包括怎样满足口渴时愿望的共识吗？…。知道有愿望不等于知道具体愿望是什么，但是有能力知道具体愿望是什么，也就是说，具有满足愿望的准则。

因此，只有有了求解任务的准则，用这一准则检查给出的解是否真的是任务的解，才能定义（理解）任务。在数学理论中，这样的准则等同于任务解的证明。但是，在形式系统自身的框架内，这一准则只能用在如下情况，我们具有任务解的证明，并有机会通过系统本身确认，解的证明确实是任务的解。文献[7-8]证明了只有在“弱”形式系统（Gödel 定理不成立）可以用形式系统本身确定一些文本描述是否是任务解的证明。

因此，数学的正当性的希尔伯特计划可以形式化表示如下：没必要证明所有数学都是一致的，正如希尔伯特最初计划中声称，这是不可能的，也是没必要的。有必要在恰当的弱形式系统框架和工具内对任务作形式化并求解。

2.1.2. 人工智能中的任务概念

让我们定义任务概念，目标是在最广范围内考虑各种任务，这也是人工智能方向的特有方法。先给一个非正式定义。

定义一个任务必须包含如下形式化内容：

- 标示主题领域，记录在特定的形式模型中，包括语言（本体）的结构和签名的描述，以及主题领域知识，如：原始数据、事实和假设；
- 主题领域任务中形式化的什么要求（问题）应该得到任务解的答案；
- 满足要求的准则：可以认为，准则满足后，表示得到了要求（问题）的答案（解）；
- 在何种条件下寻找要求（问题）的答案（解）；
- 求解任务解的目标：从结果中期望得到什么，后果是什么，对负面答案采取何种措施。

本文建议的任务方法假设人工智能的真实目的是使问题求解自动化，假定采用可执行的（陈述性的）描述对任务形式化，具体描述下面讨论。除此之外介绍的任务概念比照通用人工智能，正如我们将在后续展示的，根据功能系统理论，任务概念对人类和动物的目的性活动恰当地建模。

2.1.3. 认知科学中的任务概念

认知科学中把任务概念概括成目标概念。没有成功准则，目标是不能实现的。否则，总可以假设目标已经实现了。所以，目标的形式化总要包括目标成功的准则。实现一个目标要给出一个确定结果。

唯一的生理学理论是P.K. Anokhin的功能系统理论。这一理论认为，目标实现和得到结果是大脑对满足某种需要的问题求解 [15-20]。这一理论同时揭示由大脑实现目标和解决问题的生理学机理。Anokhin写道：“作为一体化教育来研究大脑的历史过程中，最引人注目的一个时刻是注意力固定在动作的本身，而不是结果…我们可以假设抓住反射信号的结果不是抓住这个动作本身，而是一组响应被抓对象踪迹的传入刺激”。传入刺激的全部就是功能系统理论中的实现目标的准则。功能系统理论中的目标是满足某种需求：“每个需求，即使是新陈代谢最优水平的生活机能微小变化，专用的接收装置也马上收到”（实现目标准则）。

P.K. Anokhin指出，提供有目的行为动作的功能系统中心机理具有相同结构。

2.1.3.1. 传入合成

任何复杂度的行为动作的起始阶段是传入合成，包括动机兴奋、记忆、情景和触发传入。

*动机兴奋*。根据出现的需求设定目标，然后转换成动机兴奋。

记忆。动机兴奋从记忆中提取所有可能实现目标的方式，以及用某种具体方式实现目标必须获得结果的整个序列和层次架构。

*情景传入*。当目标实现时，获得结果的情景也记录下来。这一情景固定下来，与动机一起作为实现目标需要的必要条件。因此，这一情景中的动机兴奋只从记忆中提取在这一情景中实现目标的可能方式。所以，当与从记忆中提取的经验交互时，情景传入决定在这一情景中实现目标能做的动作和怎样做。

*触发传入*。触发传入是唯一与实现目标的时空相关的情景传入。触发传入回答何时和在哪里获得结果的问题。

2.1.3.2. 决策

在传入合成阶段，动机兴奋可能从记忆中（在给定的设置中）提取多种方式实现目标。在决策阶段，只能选择一种方式——一个具体的行动计划。通过从记忆中提出累积的全部经验，动机兴奋转化成具体目标，决定实现目标本身的方式。一个具体目标在功能系统理论中称作更高动机。

2.1.3.3. 动作结果的接收器

动机兴奋也从记忆中提取实施行动计划必须获得的结果的整个序列和层次结构。在功能系统理论中，这一序列称作动作结果接收器，是生物有机体主导需求（目标），从大脑预期激励形式转换成复杂的进一步强化的接收器，作为

实现具体目标的准则。

2.1.3.4. 强化阶段

强化阶段即准许阶段。作为具体行动计划的实施结果，如果目标实现（需求满足），并获得动作结果接收器的全部结果后，最后的准许阶段开始。在这一阶段，需求满足了，完整的具体行动计划存储在记忆中。

2.1.3.5. 功能系统形式模型

基于文献[16-17,20,23]功能系统形式化的工作，开发了一个形式模型，总结了功能系统的基本特征：

1. 采用形式化神经模型检测因果关系，模型基于语义概率推理；
2. 采用目的性行为设置目标，形成一个功能系统和动作结果接收器，不间断地比较获得的结果和动作接收器中的期望结果。
3. 自动产生子目标，如果子目标的结果提高了实现最终目标的可能性，强化子目标的结果。
4. 实时选择动作，考虑当前情景和收到的传入。
5. 根据实现最终目标的功能系统序列和层次结构规划目标的实现步骤；
6. 通过决策确定实现目标的某种方式。

实验结果展示，获得的仿真体的行为自然而有效。这一模型被成功用于仿真体建模[20,23-25]。

d. 任务方法语义建模的数学理论

本节介绍形式化定义。我们可以基于任务方法的逻辑数学理论--语义建模，定义一种任务描述语言。作为基础的计算模型概念，语义建模采用 Σ-可定义性计算概念[26]，并补充了多重排序的构造式模型 M 中 Σ-函数真值的检查程序，以及模型的超结构 HW(M)和相对可计算性概念，允许使用一些黑箱操作[27-32]。

设 M 是某个集合。M 上的超结构集合 HW(M)中继承关系的有限列表用归纳形式定义如下：

1. $HW_0(M) = \{\varnothing\}$;
2. $HW_{n+1}(M) = HW_n(M) \cup Lisp(HW_n(M) \cup M))$;
3. $HW(M) = \cup^{\omega}_{n=0} HW_n(M)$。

这里，$Lisp_w(X)$是由集合 X 元素组成的全部有限列表的集合。

设$\mathcal{M}$是的多重排序构造模型 M 的签名 σ，M 是模型的基集，(HW(M)∪M)是扩展模型 HW($\mathcal{M}$)的基集，HW($\mathcal{M}$)的签名 $\sigma^* = \sigma \cup \{nil, head, tail, cons, conc , =, \epsilon, \leq, U\}$。这里，新的函数符号自然解释为列表操作，谓词符号解释为列表关系，符号“=”表示列表的等价关系，$\epsilon$ 表示列表元素的从属关系，$\leqslant$ 表示起始列表，U(HW(M)) = M。扩展签名 σ*的模型 HW($\mathcal{M}$)称作模型$\mathcal{M}$中有继承关系的有限列表的超结构，简单称为$\mathcal{M}$上的列表超结构。下一步，将多重排序构造模

型$\mathcal{M}$与它的列表超结构一起考虑，作为某种原始的基础计算器，其中，所有签名实体是可计算的结构构件。除此之外，允许通过增加谓词符号和函数符号丰富签名 σ*。一部分新的符号将用于表示谓词和函数变量，剩余部分表示某些外部可计算结构构件，称作黑箱操作，用来解释变量。

以自然方法用语言定义签名 σ*的项和原子函数。签名 σ*的Δ0-函数类定义为最小函数类，包括全部原子函数，在（¬, ∧,∨, →, ∀x∈a, ∃x∈a, ∀x≤a, ∃x≤a）操作下封闭。其中，a 表示一个项。请注意，“∈”表示“列表原素的所属关系”，“≤”指的是“起始子列表”。可以进一步称∀x∈a, ∃x∈a, ∀x≤a, ∃x≤a 表达方式为限制量。

有了Δ0-函数类，可以将签名 σ*的Σ-函数类定义为包含全部Δ0-函数，并在∧, ∨, ∀x∈a, ∃x∈a, ∀x≤a, ∃x ≤a 操作下封闭的最小类，存在无限制的约束函数∃x。注意，在我们的语言中可以正确地写出带有形式为“∀x=t”和 “∃x=t”的限制量。这里，t 表示项。可以很容易看出这样的表达式逻辑上等价于传统编程语言中的赋值操作“x:=t”。

如果 HW($\mathcal{M}$)的某个关系是Σ-可定义，称作Σ-关系，如果是$\Delta_0$-可定义，称作$\Delta_0$-关系。如果一个部分定义的函数的图是Σ-可定义（$\Delta_0$-可定义），称作 HW($\mathcal{M}$)中的Σ-函数（$\Delta_0$-函数）。

现在介绍函数可定性概念，这一概念在后续的表述中很重要。设某个给定模型$\mathfrak{R}$ = (R; $P^{n_0}_{m_0},\dots,P^{n_k}_{m_k}$)，如果下述条件满足，称模型$\mathfrak{R}$在 HW($\mathcal{M}$)上 Σ-可定义：如果存在一个 Σ-可定义的子集 S ⊆HW($\mathcal{M}$)和一个映射 μ : S → R，而映射的谓词 $P^{n_0}_{m_0},\dots,P^{n_k}_{m_k}$ 和 = 的投影 μ-原型，以及投影 μ-原型的补集，是 HW($\mathcal{M}$)中的Σ-关系（通常带有参数）。这一定义可以准确地概括这些模型，它们的签名即包含谓词符号，也包含函数符号。这一定义的重要性在于它允许将某个主题领域的模型形式化定义成语言中的Σ-定义集合，即：Σ-项集和Σ-函数集的集合。在这种情况下，Σ-定义允许采用递归策略，可以在Σ-定义中定义的项和谓词上施加约束。也可以将一个查询定义为一个Σ-函数的主题模型，函数的记录可以用于构建基本构造模型的签名构件，以及定义谓词和领域的术语项。

下面几种情况可以阐述我们介绍的概念和构件的卓越表达和计算能力[28-31,33-41]：

- 如果原始模型$\mathcal{M}$可计算（多项式可计算），它的列表超结构 HW($\mathcal{M}$)也可计算（多项式可计算）。
- 如果模型$\mathcal{M}$多项式可计算，它的列表超结构 HW($\mathcal{M}$)中由项定义的函数也是多项式可计算。
- 如果原始模型$\mathcal{M}$可计算，它的列表超结构 HW($\mathcal{M}$)中的Σ-关系可递归枚举，Σ-函数可计算。这一事实解释了术语“可计算性的可定义性

函数”的内涵。

- 如果模型$\mathcal{M}$多项式可计算，它的列表超结构 HW($\mathcal{M}$)中每个$\Delta_0$-函数 $\varphi(x_1, \ldots, x_n)$的真值计算是多项式可计算。
- 对于可确定的模型$\mathcal{M}$和它的可计算的列表超结构 HW($\mathcal{M}$)，很不幸，它们的理论不确定。
- 在 HW($\mathcal{M}$)模型中，对于 n 元Σ－关系，普遍有一个(n+1)-元Σ－关系 $P^{(n+1)}(x; x_1,\ldots, x_n)$。在这个关系中，每个Σ－关系 $Q^{(n)}(x_1,\ldots,x_n)$都有一个元素 **a**，满足 $Q(x_1,\ldots,x_n) \leftrightarrow P(\mathbf{a}; x_1,\ldots,x_n)$。同时，在 HW($\mathcal{M}$)模型中没有普遍可计算的函数。
- 设 $\varphi(x_1 , \ldots, x_n; Q+)$是一定包含谓词 $Q(x_1,\ldots,x_n)$的Σ-函数，设谓词 Q 是列表超结构 HW($\mathcal{M}$)中的一个 n 元关系。定义 G 是 HW($\mathcal{M}$)上的一个操作：$G(Q) = \{(a_1, \ldots, a_n)| \text{HW}(\mathcal{M}) \models \varphi(a_1, \ldots,a_n; Q+)\}$。

则操作 G 单调，存在Σ-可定义的最小的固定点。注意，这一点非常重要，Gandy 固定点定理允许在主题领域的形式定义中使用递归结构构件。同时，通常建议看谓词符号 Q+，它一定在Σ-函数 $\varphi(x_1 , \ldots, x_n; Q+)$中，或者作为一个递归定义的谓词，或者是调用一个黑箱操作。因此，允许在语义可计算的概念中加入所谓的相对可计算性，这是用于建模的一种非常强的工具，特别是复杂层次结构的模型。

建议在实际应用中限制在$\Delta_0$-函数类。借助于$\Delta_0$-定义，通过引进所谓条件和递归$\Delta_0$-项，可以显著提高原来语言的表达力[34-35]。例如，假设 φ 是一个$\Delta_0$-函数，$t_1$和 $t_2$ 是两个项，三元组$(\varphi,t_1,t_2)$是一个条件$\Delta_0$-项，用如下可计算的程序解释：如果 φ 为真，执行 $t_1$ 项；否则，执行 $t_2$ 项。使用各种迭代和递归计算程序，递归项用类似的方法定义[35]，$\Delta_0$-定义的语言通过这些构件的扩充，成为一种有非凡表达力的逻辑函数建模语言。更重要的一点是这种扩充保留了原有的多项式可计算性。此外，已经证明在一定条件下，反向操作也正确，即每个多项式可计算函数是$\Delta_0$-可定义[39]。做到这一点，可以使用实践中更可接受的语言来描述$\Delta_0$-函数类的问题。如果下面条件满足，我们说问题 P 可以形式化表达成 HW($\mathcal{M}$)：

- 主题领域可以用列表超结构 HW($\mathcal{M}$)的签名 $\Delta_0$-模型 P 来定义。也就是说，用$\Delta_0$-定义集的集合（再次回顾一下，递归$\Delta_0$-定义是允许的）。
- 对$\Delta_0$-模型 P 的请求可以用$\Delta_0$-函数 φ，或者$\Delta_0$-项 t 来表达。
- 作为对请求的答复 （即问题的解）：
- 如果对$\Delta_0$-模型 P 的查询是$\Delta_0$-函数 φ，则自由变量 φ 的确定需要函数 φ 为真。
- 如果请求的形式是$\Delta_0$-项 t，则计算$\Delta_0$-项 t 的值。

这里，我们要强调，求解问题 R 的准则是通过常量替代变量获得$\Delta_0$-查询函

数的真值。注意，使$\Delta_0$-查询函数为真的常量集合有多个。因此，从中挑选最优解是可能的。这一情况下，求解问题 P 的准则必须有选择查询最优答案的准则。形式化和求解问题的之一方法称作语义建模。需要注意上述阐述的形式化系统可以通过引进概率和模糊构件自然扩充。

e. 领域模型的知识归纳推理

文献[41-46]中定义主题领域是一个经验系统$\Im = \langle A, \Omega \rangle$。其中，A 表示主题领域（SD）的对象，$\Omega$表示本体。本体表示成 SD 概念系统中可解释的关系及操作集合。

文献[47]指出，知识是可以感知、认识和人性化的重要信息。因此，为了知识的归纳推理，人对 SD 本体的理解和解释很必要。

用机器学习方法对 SD 的知识做归纳推理，必须对对象的特性和属性做正确处理，以便获得由本体表达的知识。应注意，量的数值本身并不包含知识和信息，量的意思由它的具体单位的说明确定，例如，5 米、5 升、5 公斤等。单位的说明决定可能对量做哪些有意义的数学运算。值得注意的是，除了物理学其它主题领域测量的物理量失去了原有的物理解释。以温度的物理量为例，温度在非物理的范围变化。例如，医学测量病人体温、农业测量土壤温度、做饭烤炉测量空气温度等，尽管可能用相同温度计，但测量对象和目的应该有所不同。根据测量理论，测量大小的刻度是关系和操作的集合，只有用在指定的主题领域中的量的数值才有意义，也就是说，这些关系和操作需要用 SD 的本体解释。

温度计只能测量温度的说法是不对的，它实际测量的是所有情况下的物理温度。与其它度量手段一样，温度需要有它所属的 SD 本体的结论（知识）。病人体温是一种医学量的间接测量，即一种生命体征。对于土壤，温度用植物生理学和微生物的活动解释。其它主题领域中的物理温度是用其本体解释的某种非物理量的间接测量。这些主题领域的本体决定对这些量有意义的温度值的关系和操作。因此，为了提取主题领域的属性和量的信息，需要定义一组在本体$\Omega$中阐述的数学关系和操作，并将它们包含在主题领域$\Im = \langle A, \Omega \rangle$的本体$\Omega$中。

考虑理论 Th($\Im$)的发现问题。设理论 Th($\Im$)是一组通用函数（文献[47]考虑了一种更通用的情况）。已知一组通用函数的逻辑等价于一组规则，表示为式（1）

$$\forall\forall x1,x2,\ldots(A1\&...\&Ak \Rightarrow A0), k \geq 0, \qquad (1)$$

其中，A0,A1,...,Ak 是常量。所以，我们可以假设理论 Th($\Im$)是一组式（1）形式的规则。

不难看出，规则 $C = (A1\&...\&Ak \Rightarrow A0)$在逻辑上遵循形式为$(Ai1\&...\&Ain \Rightarrow A0)$的任意子规则，其中，$\{Ai1,...,Ain\} \subset \{A1,...,Ak\}, 0 \leq h < k$，也就是说，$(Ai1\&...\&Ain \Rightarrow A0) \vdash (A1\&...\&Ak \Rightarrow A0)$。因此，理论 Th($\Im$)可以化简。根据经验

系统$\Im = \langle A, \Omega \rangle$的定律，我们称式（1）为求真规则 C。因为，它的每个子规则在$\Im$上不再为真。然而，$L \vdash Th(M)$为真[16, 48]。因此，可以认为理论 Th($\Im$)是一个经验系统的一组定律。

让我们定义 η 为经验系统$\Im = \langle A, \Omega \rangle$的概率，类似文献[49]中模型的概率。$\Im$的概率定律称作规则(A1&...&Ak ⇒ A0)，它的条件概率定义为 η(A0&A1&...&Ak)/η(A1&...&Ak)。其中，(η(A1&...&Ak) > 0)并严格地大于每个子规则的条件概率。强概率定律(SPL)称为概率定律 C, 不属于任何其它概率定律的子规则。

主题领域$\Im = \langle A, \Omega \rangle$的概率知识归纳推理遵循下列语义概率推理。

某种最强概率定律 Cn 的语义概率推理(SPI)用于预测某个事件 G，我们称序列 C1 ⊏ C2 ⊏... ⊏ Cn, Ci = (Ai1&…&Aiki ⇒ G) 为概率定律，这里，Ci 是 Ci+1 的子规则，η(Ci) < η(Ci+1), i = 1,2,...n-1。

我们需要预测的知识。定义 SPL 来解决统计二义性的问题[48, 50]，可以做无歧义的预测。

考虑用于预测每个事件 G 的所有 SPL 的集合，这个集合可以作为 G 的语义概率推理树。

用于推理某种事件 G 的最具体的概率定律(MSWZ(G))也称为 SPL，属于 G 的某种语义概率推理树，树的全部规则中存在最大条件概率值。所有常数 G ∈ Ω 的所有 MSWZ(G)定律集合写成 MSZ。

已经证明 L ⊂ MSZ [41,47-48]，因此，定律集合 MSZ 概述成理论 Th($\Im$)。另外，MSZ 逻辑一致[47-48,50]。所以，确切地说，它是领域$\Im = \langle A, \Omega \rangle$的概率理论。可以证明[47-48,50]，根据 MSZ 中定律通过归纳统计推理得到的预测结果是一致的。

主题领域$\Im = \langle A, \Omega \rangle$的知识归纳推理理论已经在下节讨论的"Discovery"软件系统平台上实现，许多实际应用问题可以通过这个平台解决（见 http://old.math.nsc.ru/AP/ScientificDiscovery/index_rus.html）。

## 6. 任务方法的平台解决方案

当前，语义建模作为一种自动求解智能问题的概念，不仅以任务方法的理论和方法论为基础，同时也已经开发出工具箱作可以使用，支撑和维护下面的智能问题求解的技术路线：

步骤 1. 阐明新需求，判别和研究由于缺少满足新需求的模板方法而产生的矛盾。这一矛盾的本质是要解决的问题的真正原因和内容。下一步，用自然语言形式化描述要克服所识别的矛盾的成功准则（解决问题的原型准则）。必要的话，将问题/任务分解，确定问题的上下文（为什么、最近的超任务、子任务、求解/不求解问题的目的和后果，等等）

步骤 2. 用自然语言描述与问题相关的一般知识，构建问题领域的本体模型（概念、事实、规则、关系、…），用常用的本体术语形式化问题关联的查询的类。

步骤 3. 用语义建模的逻辑概率术语构建问题的形式模型，用相同的形式术语定义查询和解的准则。

步骤 4. 用相关的语义建模工具平台构建问题的计算模型。

步骤 5. 用计算模型求解问题查询的答案。检查决策准则的可行性、答案的有效性和/或可理解性，以及答案可解释性。

至于语义建模的技术工具，已经开发了和正在积极开发许多平台解决方案。

3.1. DOSL 平台

任务方法和它的逻辑数学理论-语义建模-的一个成功应用案例是 DOSL 语义平台[ www.dOsl.org ]，是所谓的下一代业务规则引擎(BRE)的代表。如通常的 BRE 引擎一样，DOSL 允许使用陈述性逻辑规范语言部署业务逻辑。DOSL 平台的开发项目由 V.S.Gumirov 领导。

DOSL 平台采用主题领域专家易懂的 DOSL 语言控制复杂系统的行为逻辑。平台的应用范围广泛，从企业业务流程系统，到项目管理，或行为控制自动化系统，包括人工智能系统和物联网。DOSL 语言很容易通过增加特定主题领域的函数和多项进行扩展。此外，DOSL 本身是一种领域相关语言（DSL）。DOSL 提供语言层面的扩展机制，允许创建 DSL 语言层次架构，并转换成 DOSL 一部分，因此，可以在 DOSL 内核执行。

在应用层面，DOSL 语言被积极地用在电信、金融科技和银行系统中处理交易和系统事件，因为用 DOSL 语言可以很容易修改和重构应用系统中的业务逻辑。已经证明，使用 DOSL 平台进行企业数字化转型特别有效，允许快速开发高质量的自动决策支持系统、预测分析系统，以及各种业务的数字化模型，包括企业组织本身。

应该指出的是，DOSL 语言是 Eyeline Mobilizer 开放平台上的主要技术工具之一，支持各种平台上移动设备的服务开发和运行，包括 USSD/SMS/SS7、智能手机(Android, iOS)和移动互联网[www.eyeline.ru ]。在 Eyeline Mobilizer 平台上开发的解决方案和实施的项目有电信、移动营销、金融、银行服务、市政管理和移动支付。目前，Eyeline Mobilizer 平台为几千万移动设备用户提供解决方案和服务。平台使用户显著地降低了开发和运营移动业务解决方案的费用。成功实施的案例有：MTS (*100#, *111#, etc.)的 USSD 服务和门户网站 USSD portal Alfa-Click *142# Alfa-Bank (Russia)、InnomaNet/T-mobile (Russia)、WATAGO Africa (尼日利亚最大的移动支付系统)、莫斯科市政府停车系统项目、未接电话通知系统、菲律宾

Yellow Pages/SMART、云客户服务系统GlobalUSSD.com、Beeline Russia（直接支付和转账），等等。

3.2 bSystem 平台

bSystem是构建机构组织和业务流程数字孪生系统的平台，由A.V. Mantsivoda研究组用了多年时间开发。平台聚焦大型商业环境的智能管理系统开发、企业数字化转型和其它集成解决方案。根据E.E. Vityaev的建议采用了统一的语义建模环境。一方面，bSystem将基本层次的本体与归纳逻辑概率知识推理和预测规则/决策的语义逻辑推理做了集成；另一方面，集成了经典程序设计。

因此，bSystem的架构基于三个层次的集成：逻辑概率层、分析/本体层和操作/业务层。

本体层控制仿真机构的主要参数[51-52]，反应各组成部分和它们之间连接的当前状态，提供操作层决策的分析工具（例如，商业智能任务）。这一层是平台的内核，管理所有本体，也就是基本的领域知识系统，围绕基本的领域知识系统开发所有应用系统。

逻辑概率推理层（LPI）建立在内核层之上，实现可解释人工智能的功能。在平台上，LPI负责解决预测、决策和其它AI任务的战略问题。它在bSystem中的价值是：LPI在学习时生成概率逻辑理论（模式集合），以语义形式描述应用领域范畴。这一点与神经网络不同，神经网络积累神经元的数值参数，这些参数不提供语义解释。LPI生成的理论确保了解释决策的能力。这也潜在地提供了自控能力，即评估用逻辑的元工具生成的知识的优缺点。这种能力神经网络难以达到。

底端的操作事务层是方法和程序层，随着时间改变逻辑环境。在这一层，bSystem运行面向对象语言Libretto。以任务方法观点，操作事务层构成任务生命周期的管理环境。在这一层控制的任何业务流程不过是实时完成任务的流程（实践中，某个归纳的任务实例）。通常，一个数字孪生系统是通过一组主动地交互任务随着时间展开的，伴随着满足解的条件的新的任务实例的生成和结束。任务的说明描述和解的准则由较高的本体层控制，求解过程本身作为作业链在操作层执行。同时，业务流程本身表示成本体对象，允许平台在说明层控制求解流程。因此，bSystem通过本体层和操作层的交互提供任务方法的完整实现。

bSystem的关键属性是三个层次都嵌在单一语义空间，它们相互交互并提供垂直扩展功能。这种交互产生强有力的协作效果，不仅有助于增强量的标志（在常用的各种信息技术范围内无缝交互），而且能产生质变。例如，这种集成能够从本质上实现一种低代码技术，这种面向对象的低代码技术基于本体数据的自动代码合成[53]。这一技术与传统的程序低代码技术有本质区别，程序

低代码基于简图- BPMN 规范的变体[54]。

各类本体是确保 bSystem 数字环境完整性的核心工具。实际上，一个孪生系统是一个本体或本体网络，扮演语义建模准则的角色，用于定义所表示的领域，以及要解决的任务。

一个本体也可以被认为是一个确保数字孪生系统各个部分相互交互的中心在逻辑概率层，各类本体扮演经验系统的角色，包括先验知识，根据先验知识决定学习需要的信息。在分析本体层的核，本体是数字孪生系统的语义基础和解析运算的信息源。最后，在程序层，本体作为平台编程语言 Libretto 的数据类型系统。

发现一个合适的本体架构是一个很难的问题。足可以说，bSystem 是构建这类本体管理平台的第六次尝试（唯一的相当有效的尝试）。为了更好的理解我们真正需要什么类型的本体，需要先开发一个本体必须满足的需求系统。下面列出一部分需求。

首先，正如前面指出，本体要确保平台系统的垂直连接和完整的语义空间本体的知识必须在 bSystem 所有层次中能有效解析：包括复杂的逻辑/概率推理机、分析模块（例如，商务智能）和求解传统算法问题的软件。

其次，用户要能用本体，即使他们缺少对数学逻辑的理解（理解的困难是著名语义网概念失败的关键障碍之一[55]）。由于本体提供人与平台互动期间相关领域的基础知识，如果人不理解本体，做任何事都变得无意义。所以，构建能够容易理解、与用户日常经验一致的本体也是必须做的工作。

此外，本体必须提供与外部系统交互的标准机制（信息系统、神经网络和物联网）。例如，从安装在住宅综合楼的控制器上采集数据是住宅综合楼数字孪生系统不可或缺的正常功能。为了与外界交互，本体必须备有众所周知的程序接口（API）的逻辑仿真装置。

最后，如果让本体可以实际应用，它们必须高效。意思是说，高层次本体的实施必须与关系数据库的生产力有可比性。本体必须能够管理百万级实体，实时提供复杂查询的答案。

将所有这些需求与一个形式化系统结合起来是一个相当困难的任务（例如基于众所周知的 OWL 语言的本体与上述的一些需求就不相符[56]）。在实践过程中，我们发现基于对象建模想法的本体与这些需求最相符。

对象模型的基本特征是这些模型有两个清晰的层次，说明层和程序层。第一个由类、对象和多项的属性组成。第二个层提供在类中定义的方法，这些方法在对象上操作。由于本体是领域中的基本概念、事实和关系的形式表示，对象模型可以处理程序中的类似任务，对象模型的说明层可以作为本体的充足的背景。此外，对象模型的本质非常简易、自然，为人类所熟悉。类似 Java 的面向对象语言的广泛使用证明了这一点。所以，相当可能做到给对象模型的说明

层定义严格的逻辑语义，将它转成本体的变体。

至于程序层，面向对象的语言通常是图灵完备，这一特点使情况的可控性差得多。另一方面，程序层的出现，使随着时间开发本体和管理本体的生命周期的想法成为可行。根据这一点，每个方法或每组方法的应用可以当作一个业务，将本体从一种状态转换到另一种状态[57]。这一能力在解决管理问题时特别有用，因为这种解释可以将业务流程定义成本体生命周期的业务链[58]。

所以，将对象模型转成本体需要下面步骤：

1. 定义与对象模型的说明层相关的逻辑形式系统。用语义建模的 Δ0-可定性机制完成这一步。
2. 传统的对象模型生存很短，通常存在 RAM 中。因为本体是数据和知识的长期存储，需要将本体持久化。这一步要为本体提供对象数据库功能。
3. 使用本体需要一个查询语言，这个语言要将逻辑表达能力与效率相结合，使它与关系数据库的 SQL 有可比性。在 bSystem 系统，Libretto 的陈述核部分有严格的逻辑语义，用来作为查询语言。
4. 为了提供随时间修改和开发本体的机制，将对象模型的程序层重新格式化成一个业务模型。
5. 实践中发现，对象生命周期管理工具显著增强了比传统对象模型更强的功能，对业务流程管理特别有用。使用业务机制，我们对对象生命周期的控制更强。
6. 最后一步是实现本体的自主性。一个本体被裹在一个保护层中，与外部世界隔离，只能通过严格规范的接口才能与保护层通信（类似于程序的 API）。

从任务方法看，第五步实现了任务生命周期的两层管理，即：底层操作的执行和本体层的语义控制。

最后一步实现了局部约简的概念，将任意复杂系统构建成基于逻辑交互机制、相对简单的本体网络，可以在开发数字孪生系统时自由地做水平扩展。

从 IT 的观点看，第二步和最后一步将一个对象本体转换成一个微服务[59]，因为这些步骤提供了微服务的两个主要特征--数据存储自治（体现在本体）和与外部世界交互通道的严格控制。这点也决定了在 bSystem 上开发的数字孪生系统的总架构。

bSystem 为我们提供了全新的系统开发方法论[60]。他的开放性建模方法从跟本上改变了参与者之间在开发和运行阶段的交互机制。本体对所有不同角色参与者直接可用。例如，客户完全控制开发过程，可以对开发中发现的问题及早提供反馈。由于严格的逻辑语义，高层模型可以同时当作系统的规范和执行文档，与软件代码的黑箱方式有本质的不同。

3.3. Discovery 平台—归纳知识推理的本体方法

前面已经提到，E.E. Vityaev 研发了知识发现的本体方法和软件系统 Discovery [6,42,50-51]。这一方法用于从数据提取的信息中发现知识，表达成一个经验系统 SD $\Im = \langle A, \Omega \rangle$。Discovery 系统比其它机器学习方法有如下优点：

1. 采用从本体$\Omega$的数据提取的信息，消除了数据类型的限制；
2. 用本体$\Omega$定义先验知识，消除了先验知识表达类型的限制；
3. 用本体$\Omega$定义的知识类（规则形式）表达测试的假设类，消除了对测试假设类的表达类型的限制；
4. Discovery 系统能够识别下列模式类型：
   a) 经验系统$\Im$的定律集和理论 $Th(\Im)$，
   b) 概率定律集和最强概率定律集，
   c) 用于无歧义预测的最具体的定律集[48,52]。

在本体方法中，发现的知识的完备性有两个意义：（1）使用本体和度量理论从数据中提取的信息的完备性；（2）用规则 a)-c)表达发现的知识的完备性。

当检测的模式预先不知道时，已有的机器学习方法不支持数据探索。每个机器学习方法只能揭示与其本体相关、相当具体的假设的类。Discovery 系统能够发现专家可指定的任意类型的假设，当研究过程中假设类型改变时，能够支持数据探索模式。

Discovery 系统发现的知识用 SD 本体表示。当涉及医学、金融或军事应用领域的决策时，模式的互操作可能很重要。

Discovery 系统被用于解决许多问题，包括金融预测[6,42]、生物信息学[64]、医学[65]、欺诈分析[66]和其它领域。

3.4. Delta 平台

在引言中提到所谓的中心化问题，这是当代人工智能迫切需要解决的一个问题，另一个问题是众所周知的黑箱问题，意味着一种趋势，即：人工智能的能力和控制被集中在少数法律实体的人的手中。解决这一问题，引言中建议采用虚拟货币采用的去中心化经验。同时，建议将 AI 算法本身当作多链区块链子结构上运行的智能合约，能够确保所有操作的透明、训练样本的透明和决策透明。最后提出了 AI 算法多项式可计算的复杂度要求，有明显的实践意义。总的来讲，最终任务是开发任何意义上多项式可计算的可信语义建模系统。

2017 年，S.S. Goncharov[34]提出了条件项可以理解成条款不仅满足第一谓词逻辑的标准项，也满足正确定义的句法结构的其它项。根据这一结果，S.S. Goncharov and D.I. Sviridenko 在 2019 年提出将这些扩展项分为有界递归项、B-while 项、迭代项等[33]，他们指出所有这些扩展项都没有超出多项式的计算复杂度。但是，他们没有解决这些扩展项的 P-完全问题。然而，在

2022年，S.S. Goncharov and A.V. Nechesov发现了最早的句法结构，完成了P-完全语义建模语言L的构建[39]。在这之前的2021年，他们还证明了Gandy固定点定理的多项式模拟结果[36]，可以说，在特定$\Delta_0$-系统框架内能够找到这样的函数条件，使Gandy固定点定理的经典结果在这一系统有效。此外，重要的一点是，这一系统中构建的操作的最小固定点是多项式可计算。这一结果对进一步发展语义编程语言L和形式化$\Delta_0$-系统本身提供了更大的动力。

注意，Gandy固定点定理的多项式模拟结果可以让我们沉浸在形式系统任意归纳定义的句法结构中，提出评估这种存储复杂度的编码和手段。根据这一点，S.S. Goncharov, D.I. Sviridenko and A.V. Nechesov阐述了P-完全语义编程语言L*的面向对象版本[40]，并开始开发它的专用框架-Delta平台。这个平台已经产业化，包括解决上述提到的多区块链和智能合约问题所需的必要功能。L*语言基于P-完全逻辑语言L开发。同时，如果有必要，可以在多链区块链的不同层次设置不同的用户访问层，为区块链本身和在区块链上运行的智能合约设置不同的透明等级。由于智能合约写成P-完全语言L*的特定类型程序，显著地降低了合约审计的人工成本。用L*语言本身可以描述神经网络[61]和区块链[62]操作，这是一个不用质疑的优点，因为实现这些操作不再需要其它外部软件。

采用P-完全语言L*解决问题的方法，我们不仅描述问题的本身，也用同一语言的框架和工具解决问题。由于我们的以区块链为基础，可以很简单地搭建去中心化的解决方案。例如，比特币或Ethereum区块链是最安全的去中心化区块链，可以作为多区块链的最顶层。下层的区块链不必去中心化，可以当作正常的数据库，放在每个用户的电脑上。因为没必要与其它区块链达成任何共识，可以确保数据高速读写。

需要引起读者注意，Delta平台的开发同Discovery平台一样集成了其它预测系统，为构建AI算法提供了强大动力。这些算法的本质非常接近通用人工智能（AGI）算法，确保了智能系统的高度自学习能力和普通用户对系统的高可信度。有了上述组合的可能性，可以看出，任务方法是在下面情况下实现系统的主要配备：AI系统能够解决赋予它们的任务并独立形式化新的任务，而这些新任务又不能在AI算法中明显陈述。有了这些就允许我们谈论在任务方法的框架内构建可信的通用AI的可能性。

## 7. 结论

本文可以作为任务方法领域的一份研究报告。任务方法的实际应用是本文作者、他们的学生和同事完成的。这些应用起始于上个世纪70-80年代，随着多年的发展，任务方法的发展和应用产生了许多成果。这些工作不仅与数学和人工智能的各种问题有关，也关联其它领域，包括认知科学、神经生理学、医学、企业数字化转型、复杂系统设计的自动化、数字孪生，等等。从前面的讨

论可以看到，不仅可以开发任务方法的方法论和数学工具，也可以建立有效而重要的技术储备，这些技术储备可以用于解决各领域范围广泛的任务，如：电讯、商业、零售、金融科技、遗传学、地质学、网络安全、机器人学、医学等基于可信通用人工智能的研发也进入日程。正如早年的经验展示，有各种理由认为，这样的人工智能在不远的将来会出现，而在通用人工智能框架内将包括任务方法。

***Литература*** ***References*** ***參考書目***


1. Blockchain trilemma https://coinmarketcap.com/alexandria/glossary/blockchain-trilemma

2. Durov, N., Durov, P. White Paper Ton-Blockchain, 2017 https://www.docdroid.net/NFTQHzI/ton-pdf

3. Phillips, P. , Hahn, C. , Fontana, P. , Yates, A. , Greene, K. , Broniatowski, D. and Przybocki, M. (2021), Four Principles of Explainable Artificial Intelligence, NIST Interagency/Internal Report (NISTIR), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, [online], https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8312,

4. Notice of the Cyberspace Administration of China on Public Comments on the "Administrative Measures for Generative Artificial Intelligence Services (Draft for Comment)" http://www.cac.gov.cn/2023-04/11/c_1682854275475410.htm

5. National standard of the Russian Federation, Artificial intelligence systems, ways to ensure trust, GOST R 59276-2020 https://docs.cntd.ru/document/ 1200177291

6. Notice of the Cyberspace Administration of China on Public Comments on the "Administrative Measures for Generative Artificial Intelligence Services (Draft for Comment)" http://www.cac.gov.cn/2023-04/11/c_1682854275475410.htm

7. Ershov Yu. L., Samokhvalov K. F. On a new approach to the philosophy of mathematics // Structural analysis of symbolic sequences. Novosibirsk, 1984. Issue 101. pp. 141-148. (in Russian)

8. Ershov Yu. L., Samokhvalov K. F. Modern philosophy of mathematics: ailments and treatment. Novosibirsk: Parallel, 2007. 142 p. (in Russian)

9. Sergei S. Goncharov, Dmitrii I. Sviridenko, Evgenii E. Vityaev. Task Approach to Artificial Intelligence // Proceedings of the Workshop on Applied Mathematics and Fundamental Computer Science 2020, Omsk, Russia, April 23-30, 2020. CEUR Workshop Proceeding. Vol. 2642.

10. S.S.Goncharov, E.E. Vityaev, D.I. Sviridenko. Problem-solving approach in artificial intelligence // Applied Mathematics and Fundamental Informatics. - 2020. - T. 7. - No. 2. - P. 4-9

11. Sviridenko D.I. Semantic Smart Wallets // 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), Novosibirsk, Russia, 2019, pp. 991-994.

12. D.I.Sviridenko, E.E.Vityaev. A task-based approach to artificial intelligence and its theoretical and technological base // 18 National conference on artificial intelligence with international participation (CII-2020), (October 10-16, 2020, Moscow, Russia). Conference proceedings / Ed. V.V. Borisova, O. P. Kuznetsova. - M: MFTI, 2020. (326 p.). S. 36-44.

13. S.Russell, P.Norwig. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Kiev: Williams, 2006.

14. STRONG ARTIFICIAL INTELLIGENCE. On the approaches to the supermind // Alexander Vedyakhin [et al.]. — M.: Intellectual Literature, 2021. — 232 p. (in Russian)

15. Anokhin P. K. Fundamental questions of the theory of functional systems // Philosophical aspects of the theory of functional systems. Moscow: Nauka, 1978. pp. 49-106. (in Russian)

16. Vityaev E.E. The logic of the brain // Approaches to modeling thinking. ed. by V.G. Redko. URSS Editorial, Moscow, 2014, pp. 120-153. (in Russian)

17. Vityaev E.E. Mathematical probabilistic model of cognitome and functional systems // Artificial intelligence, algebraic biology and theory of systems in mathematical research of Russian scientists. Volume 1. Proceedings of the Meeting "Interdisciplinary interaction of algebraic biology, systems theory and artificial intelligence". Special Issue of the journal Biomash Systems, Volume 5, No. 1, January-March, 2021, pp. 238-292. (in Russian)

18. Anokhin, P.K.: Biology and neurophysiology of the conditioned reflex and its role in adaptive behaviour, Oxford etc.: Pergamon press, pp. 574. (1974).

19. Sudakov K.V.: The general theory of functional systems. Moscow: Medicine, p.222. (1984) (in Russian)

20. Evgenii E. Vityaev Purposefulness as a Principle of Brain Activity // Anticipation: Learning from the Past, (ed.) M. Nadin. Cognitive Systems Monographs, V.25, Ch. 13. Springer, 2015, pp. 231-254.

21. Kolmogorov A. N. Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitrechnung, in Ergebnisse der Mathematik. — Berlin, 1933.

22. Altshuller G. S. Finding an idea: An Introduction to the TRIZ – Theory of solving inventive problems, 3rd ed. — Moscow: Alpina Publisher, 2010. p. 392. (in Russian)

23. Mukhortov V.V., Khlebnikov S.V., Vityaev E.E. Improved algorithm of semantic probabilistic inference in the problem of 2-dimensional animate, Neuroinformatics. 2012. Vol.6, No. 1, pp. 50-62. (in Russian)

24. Demin A.V., Vityaev E.E. Learning in a virtual model of the C. elegans nematode for locomotion and chemotaxis, Biologically Inspired Cognitive Architectures. 2014, v.7, pp.9–14.

25. Vityaev, E.E., Demin, A.V., Kolonin, Y.A. (2020). Logical Probabilistic Biologically Inspired Cognitive Architecture // Goertzel, B., Panov, A., Potapov, A., Yampolskiy, R. (eds) Artificial General Intelligence. AGI 2020. LNCS, v. 12177. Springer, Cham.

26. Ershov Yu. L. Definability and computability. Novosibirsk, 2000. (in Russian)

27. Goncharov S. S., Sviridenko D. I. Semantic modeling and artificial intelligence // Siberian Philosophical Journal. 2018. vol. 16, No. 4. pp. 5-25. (in Russian)

28. Goncharov S. S., Sviridenko D. I. Theoretical aspects of Σ-programming. Lecture Notes in Computer Science, 1986, vol. 215, p. 169–179.

29. Goncharov S.S., Ershov Yu.L., Sviridenko D.I. Semantic programming. In: Proc.IFIP 10-th World Comput. Congress. Dublin. Vol. 10. 1986. pp 1093–1100.

30. Goncharov S.S., Ershov Yu.L., Sviridenko D.I. Semantic foundations of programming, // LNCS. Vol. 278. 1987. pp. 116–122.2.

31. Goncharov S.S., Sviridenko D.I. Σ-programming // Transl., II.Ser., Am. Math. Soc., 1989, vol. 142, p. 101–121.

32. Goncharov S., Sviridenko D. Semantic Modeling and Hybrid Models // 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), Novosibirsk, Russia, 2019, pp. 987-990.

33. Goncharov S. S., Sviridenko D. I. Logical language for describing polynomial computability // Reports of the RASciences, 2018. Vol. 485, No. 1. pp. 11-14. (in Russian)

34. Goncharov S.S. Conditional terms in semantic programming // Siberian Mathematical Journal. 2017. Т. 58. № 5. С. 794-800.

35. Goncharov, S.S. Sviridenko, D.I. Recursive Terms in Semantic Programming (Article) // Siberian Mathematical Journal. - Volume 59, Issue 6, 1 November 2018, Pages 1014-1023.

36. Goncharov, S., Nechesov, A. Polynomial analogue of Gandy's fixed point theorem. Mathematics, 2021, 9(17), 2102.

37. Goncharov S., Ospichev S., Ponomaryov D., Sviridenko D. The expressiveness of looping terms in the Semantic Programming. Siberian Electronic Mathematical News. 2020, 380-394.

38. Nechesov, A. Semantic Programming and Polynomially Computable Representations. Siberian Advances in Mathematics. 2023. V.33. N1. P.66-85.

39. Goncharov, S., Nechesov, A. Solution of the Problem P = L. Mathematics, 2022, 10(1), 113.

40. Goncharov, S.S.; Nechesov, A.V. Semantic programming for AI and Robotics. IEEE International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON)}, Yekaterinburg, Russian Federation, 2022, pp. 810-815.

41. Vityaev E. E. Extracting knowledge from data. Computer cognition. Models of cognitive processes. Novosibirsk, 2006. 293 p. (in Russian)

42. Pfanzagl I. Theory of measurements. M.: Mir, 1976. 248 p.

43. B. Kovalerchuk and E. Vityaev. Data Mining in Finance: Advances in Relational and Hybrid Methods, Kluwer Acad. Pub., 2000.

44. Krantz D.H., Luce R.D., Suppes P., Tversky A. Foundations of Measurement. Acad. Press, N.Y.; L. 1971; 1989; 1990. Vol. 1–3.

45. E. Vityaev, B.Y. Kovalerchuk, Relational Methodology for Data Mining and Knowledge Discovery. Intelligent Data Analysis. Special issue on “Philosophies and Methodologies for Knowledge Discovery and Intelligent Data Analysis” eds. Keith Rennolls, Evgenii Vityaev. v.12(2), IOS Press, 2008, pp. 189-210.

46. Evgenii Vityaev, Boris Kovalerchuk. Ontological Data Mining. Uncertainty Modeling: Dedicated to Professor Boris Kovalerchuk on his Anniversary. Studies in Computational Intelligence 683, V. Kreinovich (ed.), Springer, 2017, pp. 277-292.

47. Vityaev E.E. Semantic probabilistic inference of predictions // Izvestia of Irkutsk State University, Series "Mathematics". 2017. Volume 21. pp. 33-50. (in Russian)

48. Evgenii Vityaev The logic of prediction. In: Proceedings of the 9th Asian Logic Conference (August 16-19, Novosibirsk, Russia), World Scientific Publishers, 2006 pp.263-276.

49. Halpern, J.Y. An analysis of first-order logic of probability. Artificial Intelligence. v. 46, 1990. – P. 311-350.

50. Vityaev, E., Odintsov, S. How to predict consistently? Trends in Mathematics and Computational Intelligence In: Studies in Computational Intelligence, 796, Mar?a Eugenia Cornejo (ed), 2019, 35-41.

51. Malykh A.A., Mantsivoda A.V. Object theories over list superstructures // Izvestiya Irkutsk State University. Mathematics series. 2012. Vol. 4. pp. 27-44. (in Russian)

52. Malykh A.A., Mantsivoda A.V. Documentary modeling // Izvestiya Irkutsk State University. Mathematics series. 2017. Vol. 21. pp. 89-107. (in Russian)

53. Gavrilina D. E., Mantsivoda A.V. Low-code and object spreadsheets // Izvestiya Irkutsk State University. Mathematics series. 2022. Vol. 40. C. 93-103. (in Russian)

54. Business Process Model and Notation (BPMN). Version 2.0. URL: https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/PDF (accessed 1 April 2022).

55. T.Berners-Lee, J.Hendler, O.Lassila. The Semantic Web. Scientific American 284 (5), 34-43, 2001.

56. OWL2 Web Ontology Language. Structural Specification and Functional-Style Syntax (Second Edition). W3C Recommendation 11 December 2012. URL: https://www.w3.org/TR/owl2-syntax/ (accessed 1 April 2022).

57. Mantsivoda A.V., Ponomaryov D.K. Towards Semantic Document Modelling of Business Processes // News of Irkutsk State University. Mathematics series. 2019. Vol. 29. pp. 52-67.

58. Mantsivoda A.V., Ponomaryov D.K. On Termination of Transactions over Semantic

Document Models // News of Irkutsk State University. Math. series. 2020. Vol. 31. pp. 111-131.

59. Gavrilin D. N., Kustova I. A., Mantsivoda A.V. Object models as microservices: query language // Izvestiya Irkutsk State University. Math. series. 2022. Vol. 42. C. 121-137. (in Russian)

60. Kazakov I.A., Kustova I.A., Mantsivoda A.V. Documentary modeling: methodology and applications // News of Irkutsk State University. Math. series. 2020. Vol. 32. pp. 79-93. (in Russian)

61. Goncharov, S.; Nechesov, A. Polynomial-Computable Representation of Neural Networks in Semantic Programming. J 2023, 6, 48-57.

62. Goncharov, S.; Nechesov, A. Axiomatization of Blockchain Theory. Mathematics 2023, 11, 2966.

DOI 10.18699/sblai2023-42

# *MapReduce vs Non-MapReduce - Efficiency and Scalability in Big Data Computing*

# *MapReduce и не-MapReduce – эффективность и масштабируемость в области вычислений больших данных*

***Xudong Sun***,
Shenzhen University
ShenZhen, China,
孙旭东
深圳大学
中国，深圳
*sunxudong2016@email.szu.edu.cn*

***Dingming Wu***,
Shenzhen University
ShenZhen, China,
吴定明
深圳大学
中国，深圳
*dingming@szu.edu.cn*

***Yongda Cai***,
Shenzhen University
ShenZhen, China,
蔡湧达
深圳大学
中国，深圳
*caiyongda2021@email.szu.edu.cn*

***Lingxiang Zhao***,
Shenzhen University ShenZhen, China,
赵凌翔
深圳大学
中国，深圳
*2200271016@email.szu.edu.cn*

***Changda Xiao***
Shenzhen University
ShenZhen, China
萧畅达
深圳大学
中国，深圳
*2200271024@email.szu.edu.cn*

***Joshua Zhexue Huang***,
Shenzhen University
ShenZhen, China
黄哲学*
深圳大学
中国，深圳
*zx.huang@szu.edu.cn*

***Abstract***. MapReduce is a popular distributed computing paradigm for processing big data in a massively parallel fashion. However, when it is used to implement and run highly iterative algorithms for analyzing distributedly stored big data, the MapReduce paradigm loses its computing efficiency and data scalability due to the communication costs occurring in iterations of the algorithm over the entire dataset. Non-MapReduce is an alternative computing paradigm that removes the communication costs when executing iterative algorithms on big data that is stored using the random sample partition data model. In the Non-MapReduce paradigm, a set of random sample data blocks are selected and loaded into the memory of computing nodes. An iterative algorithm is dispatched to each computing node and executed on local data set independently and in parallel without communications among the nodes. Afterwards, the local results are transferred to the master node for computing the final result. In this paper, we propose the LOGO computing framework, a core technology for Non-MapReduce paradigm, and demonstrate its computing performance with widely used supervised learning, unsupervised learning, and pattern mining algorithms. The experiment results show that LOGO outperforms the state-of-the-art Spark by orders of magnitude in terms of the running time. LOGO is scalable to terabyte-scale data sets with high-quality results.

***Аннотация.*** MapReduce — это популярная парадигма распределенных вычислений для обработки больших данных в массово-параллельном режиме. Однако когда он используется для реализации и запуска высокоитеративных алгоритмов анализа распределенно хранящихся больших данных, парадигма MapReduce теряет свою вычислительную эффективность и масштабируемость данных из-за затрат на связь, возникающих при итерациях алгоритма по всему набору данных. Non-MapReduce — это альтернативная

парадигма вычислений, которая устраняет затраты на связь при выполнении итерационных алгоритмов на больших данных, хранящихся с использованием модели данных раздела случайной выборки. В парадигме Non-MapReduce набор блоков данных случайной выборки выбирается и загружается в память вычислительных узлов. Итерационный алгоритм отправляется на каждый вычислительный узел и выполняется на локальном наборе данных независимо и параллельно без связи между узлами. После этого локальные результаты передаются на главный узел для вычисления окончательного результата. В этой статье мы предлагаем вычислительную среду LOGO, базовую технологию для парадигмы Non-MapReduce, и демонстрируем ее вычислительную производительность с помощью широко используемых алгоритмов контролируемого обучения, неконтролируемого обучения и анализа шаблонов. Результаты эксперимента показывают, что LOGO превосходит современный Spark по времени работы на несколько порядков. LOGO масштабируется до наборов данных размером в терабайты с получением высококачественных результатов.

摘要—MapReduce 计算范式是当今流行的一种以大规 模并行方式处理大数据的分布式计算范式。然而，当它被用 于实现和运行高度迭代的算法来分析分布式存储的大数据 时，由于算法在整个数据集上迭代计算产生的通信开销，使 MapReduce 计算范式降低了计算效率并失去了数据可扩展 性。Non-MapReduce 计算范式是一种替代的计算范式，它采 用了随机样本划分数据模型存储大数据，在执行迭代算法时消除 了数据通信开销。在 Non-MapReduce 计算范式中，首先选 择一组随机样本数据块被选择并加载到计算节点的内存中；然后 将迭代算法分派到每个计算节点，并在节点上独立并行地处理 本地数据集，无需节点间数据通信；最后，节点计算的本地结果 被传输到主节点，计算最终结果。本文提出 Non-MapReduce 计算范式的核心技术 LOGO 计算框架，并通过常见的有监督 学习、无监督学习和模式挖掘算法展示其计算性能。实验结果表 明，LOGO 计算框架在运行时间上要优于目前最先进的 Spark 计算框架几个数量级。除此之外，LOGO 计算框架的数据可扩 展性达到 TB 级别，并可以获得令人满意的结果。

## *1. Introduction*

Big data analytics enables data-guided decision-making which has found successful applications in smart cities [1], fraud detection [2–4], disease diagnosis and prediction [5, 6], industrial production [7, 8], weather forecasting [9], etc. Nowadays, we are seeing a massive growth in demand for processing and anaylzing big data. According to the Statista report (*https://www.statista.com*), the overall amount of data generated in the world is around 97 zettabytes in 2022, and it is expected to grow to 181 zettabytes by 2025. It is shown by Precedence Research (*https://www.precedenceresearch.com/data-analytics-market*) that the global data analytics market size was exhibited at USD 41.39 billion in 2022 and is projected to surpass USD 346.33 billion by 2030.

Currently, distributed computing platforms and systems [10] are widely adopted to handle big data, since it is prohibitively expensive or physically impossible to process and analyze big data using a single machine. The popular general purpose distributed platforms such as Hadoop (*https://hadoop.apache.org*) and Spark (*https://hadoop.apache.org*) adopt the MapReduce architecture, shown in Fig.1. The

big data files are divided into smaller blocks and stored on distributed file system. Analysis tasks are performed by conducting iterations of mapper and reducer operations on these blocks. An iteration consists of a Mapper and a Reducer phases. The shuffling operation in between the Mapper and the Reducer phases incurs an N-to-N data transferring. The communication overhead occurs in each iteration and is proportional to the number of iterations in the algorithm [11]

Native distributed machine learning systems such as TensorFlow [12], MXNeT [13], DIANNE [14], and PyTorch [15] follow the parameter server architecture, shown in Figure 2. Each worker node computes local parameters using local data. The CPU is responsible for initializing, storing, and updating the parameters, while the GPU transforms input data into tensors and trains the model. The global model parameters are then aggregated and updated on the server nodes. This process is iterative, where in each iteration, the worker nodes need to communicate with the server node.

Commonly used analytical algorithms such as classification [16], clustering [17], and pattern mining [18] are iterative, which need to scan and process the entire dataset many times. Hence, the MapReduce and the parameter server architectures have

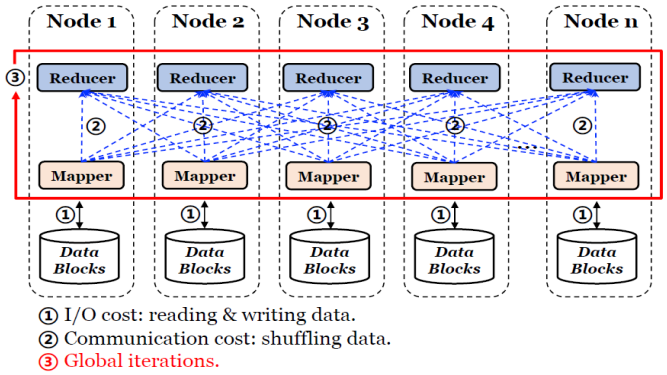



*Fig.1: The architecture of MapReduce.*

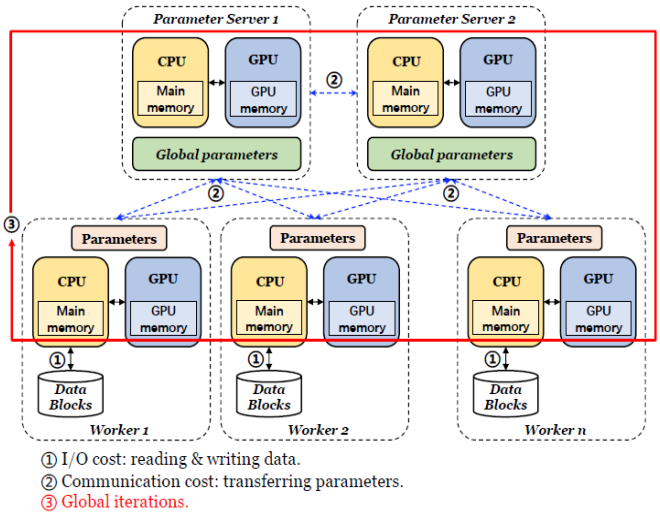



*Fig. 2: The architecture of parameter server.*

the following limitations when executing iterative algorithms to process big data.

• High communication cost. In the MapReduce and the parameter server, the communication cost occurs between two consecutive iterations when executing iterative algorithms. All the machines need to send and receive data and parameters before entering the next iteration. Thus, the communication cost grows substantially as the number of iterations and the volume of data increase.

• High RAM requirement. When the data volume exceeds the main memory (RAM) capacity in the system, it will cause frequent memory-swapping that moving data between main memory and secondary storage, which is time-consuming. Spark reduces the data input and output cost by using a distributed in-memory data abstraction called Resilient Distributed Datasets (RDDs). However, to handle big data, it requires a large amount of RAM. This is an impractical solution for rapid growth of data volume.

• Inconvenient parallel programming model. It is tedious and complex to convert analytical algorithms into the corresponding parallel versions in the current distributed systems. Programmers have to rewrite analytical algorithms using the available programming interfaces. Moreover, debugging and optimizing parallel programs are often difficult and timeconsuming.

The above limitations can be eliminated by partitioning a big dataset as data blocks which are made as random samples of the big dataset, e.g., the random sample partition (RSP) data model [19]. This data representation allows each data block being processed independently in a computing node by an iterative algorithm, and many data blocks being processed by the same algorithm in a massive parallel fashion. The data block results are then transferred to the master node for computing the final result. This Non-MapReduce approach, which we will discuss in this article, has the following merits in big data analytics.

(i) Scalability. When handling a growing amount of data, e.g., terabyte-scale data, iterative algorithms are able to respond in a reasonable time.

(ii) I/O efficiency. When the data partitions and the intermediate results cannot fit in memory, the memory-swapping is not frequent.

(iii) Communication reduction. When performing iterations, the communication costs among the computing nodes keep low.

(iv) Simple parallel programming model for iterative algorithms. Complex iterative algorithms can be easily packaged as operators to execute in a parallel fashion.

The remainder of this article is organized as follows. First, we review the core technologies of Non-MapReduce Computing - RSP data model and LOGO framework, and its implementation in Spark. Then, we use three types of machine learning algorithms for supervised learning, unsupervised learning, and pattern mining to illustrate the major steps of Non-MapReduce Computing in executing these

iterative algorithms over large data sets. Finally, we provide simulated results to show the performance of efficiency and data scalability of Non-MapReduce computing in running machine learning algorithms over big data sets up to 10 TB. We conclude this article by a summary of the advantages of Non-MapReduce computing in big data analytics.

## *2. Non-mapreduce computing*

Non-MapReduce computing is powered by two core technologies – The RSP data model [19] which enables the data blocks of a distributed data file being used as random samples of the big data file, and the LOGO framework which we propose in this article to enable Non-MapReduce computing. The two technologies are detailed in the following two sections which are followed by an implementation in Spark.

### *2.1 RSP Data Model*

A distributed data file is saved as a set of data blocks which are distributed on the nodes of a cluster and managed by a distributed file system, e.g., HDFS [20]. The random sample partition or RSP data model represents a big data set as a partition of RSP data blocks [19] which are also saved in a distributed fashion and managed by HDFS. However, each RSP data block is made by an random sample partitioning algorithm [21] a random sample of the big data set so it can be used to compute the statistical estimates of the big data set.

Formally, let $D=\{r_1, r_2, \ldots, r_N\}$ be a multivariate data set of $N$ records. Each data record $r_i=\{x_1, x_2, \ldots, x_M\}$ has $M$ features, where each feature $x_i$ is a random variable. Let $T$ be a random sample partitioning algorithm that divides $D$ into $K$ nonoverlapping subsets $D_1, D_2, \ldots, D_K$ which satisfy the following three conditions:

$(i)\, D=U_{i=1}^{K} D_i$, $(ii)\, D_i \cap D_j=\emptyset$, $1\leqslant i, j\leqslant K, i\neq j$,

$(iii)\, |F(D_i)-F(D)|<\delta$, $1\leqslant i\leqslant K$, where $F()$ is the cumulative distribution function (CDF) of a data set, and $\delta$ is a small positive constant. This condition states that the CDFs of all RSP data blocks must be similar to the CDF of the data set.

The set of $D_1, D_2, \ldots, D_K$ is called an RSP data model of D. The algorithm T in [21] works as follows: Initially, data blocks are stored across $n$ machines (a.k.a. nodes). Suppose that each node stores $K$ data blocks. On each node, all the records in each data block are randomized, and then each data block is sliced into $K$ mini-blocks. This procedure is executed in parallel on all nodes. After that, each node receives one mini-block from each of all the other node, and then merges them with its local one mini-block. In the end, the original data set is reorganized as RSP blocks and saved in HDFS. Figure 3 shows the program workflow

### *2.2. LOGO Framework*

Given a data set D as an RSP data model, in Non-MapReduce computing, an

analytical task of D is carried out under the Local Operations with Global Operations (LOGO) computing framework on commodity clusters. The architecture of LOGO consists of two layers: the data layer and the computation layer, as shown in Fig. 4.

At the data layer, data files take the form of RSP blocks that are distributedly stored across *n* nodes. Usually, an RSP block corresponds to a random sample of the data file to be analyzed. At the computation layer, the execution process of an analytical task consists of a local phase and a global phase. One node is responsible for the global phase, called GO master. All the nodes can join the local phase, called LO workers.

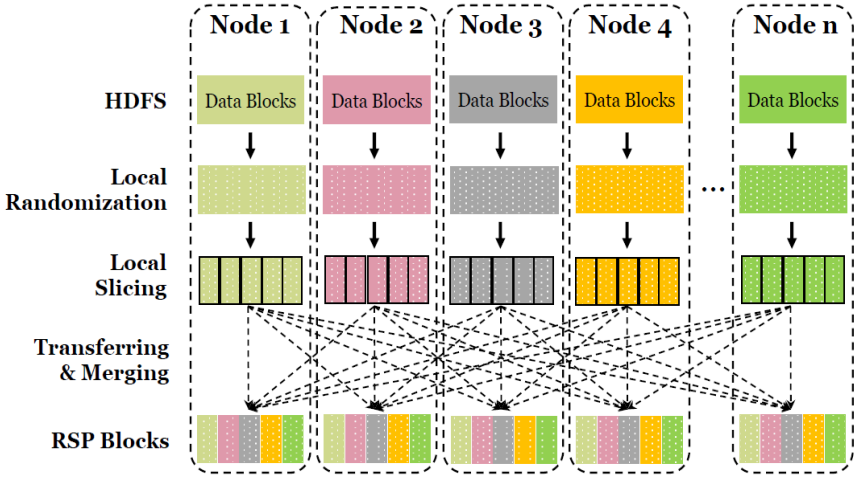



*Fig. 3:Workflow of algorithm T.*

Local Phase. Each LO worker performs a local operation on its own RSP data block without communicating with other workers. The local operation can be a simple algorithm or a highly iterative one. At the end of the local phase, a local model based on one RSP data block is produced. Global Phase.

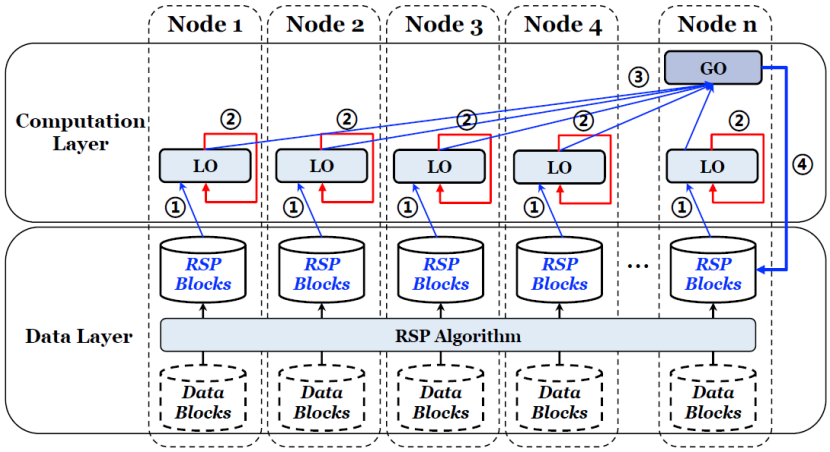



*Fig. 4.*
*①I/O cost: reading RSP blocks.②Local iterations. ③Communication cost: transferring*

*local results. ④I/O cost: writing final results.*

When all LO workers complete their local tasks, the GO master is notified and uses remote procedure calls to read the local models from all LO workers. It performs a global operation that merges all the local models and saves the final model in the storage. Different from MapReduce which executes an iterative algorithm through iterating many pairs of map and reduce operations resulting from heave data communication costs, under the LOGO framework, the iterative algorithm completes its executions in the LO workers in parallel without the need of data communications. Therefore, it is very efficient in executing iterative algorithms.

### *2.3 Implementation in Spark*

Non-MapReduce computing with the RSP data model and the LOGO computing framework is implemented on HDFS (*https://hadoop.apache.org/docs/r1.2.1/hdfs_design.html*) and Spark. The following three main components are detailed below. (i) RspRDD Abstraction. Spark uses RDDs to share data among computations. We follow this idea and create a data-sharing abstraction called RspRDD by extending the RDD in Spark. The RSP blocks in HDFS are represented in Spark by an RspRDD object that can be manipulated in parallel, e.g., class RspRDD[T: ClassTag](prev: RDD[T]) extends RDD[T](prev){...} (ii) RSP Conversion.We provide function RandomizeAndSlice() for randomizing the records in a data block and slicing the data block into *K* mini-blocks. Users can use it in the following code snippet below (Spark API in Scala) to covert the data blocks in HDFS into RSP data blocks. Line 1 specifies the data file to be converted and the number *K* of partitions in an RDD. Line 2 passes function RandomizeAndSlice() to Spark API function mapPartitions(), so that local randomization and slicing are executed on each data block across all nodes. Then, each mini-block is assigned an integer key in the range of [1,*K*]. Line 3 calls Spark API function reduceByKey(), so that mini-blocks are transferred and merged, resulting in RSP blocks on each node. Finally, line 4 saves these RSP blocks in an HDFS file.

```
1: val RDD1 = sparkContext.textFile(filepath, K)
2: val RDD2 = RDD1.mapPartitions(RandomizeAndSlice())
3: val rspRDD = RDD2.reduceByKey()
4: rspRDD.saveAsTextFile(rspfilepath)
```

(iii) LOGO APIs. The local operation and the global operation in the LOGO framework are expressed by functions LO() and GO(), respectively. The input RSP blocks as partitions of an RDD are first processed by function LO(), which outputs a local model on each RSP partition. Function GO() merges all local models produced by function LO() and outputs the final model. LOGO APIs support multiple programming languages such as Java, Scala, and Python. The details of the LOGO API functions are described below.

• rspTextFile(rspfilepath): It loads an RSP data file in HDFS and returns an RspRDD object that represents the RSP data blocks as RSP partitions in RDD.

• getSubPartitions(m): It randomly selects *m*% of the RSP partitions.

• LO(L_Algorithm()): It accepts a function L_Algorithm(), which is user-defined and can be any analytical algorithm. It dispatches function L_Algorithm() to all LO workers. Each LO worker applies function L_Algorithm() to its own RSP partition, and then produces a local model from each RSP partition. Similarly, LO(preProcess()) is also valid, which specifies the function for preparing data on each RSP partition. For instance, running LO(preProcess()) before LO(L_Algorithm()) indicates the data preprocessing before modeling.

• GO(G_Algorithm()): It accepts a user-defined function G_Algorithm() that merges all local models and produces the final model. Client Program. The code snippet in Scala below shows a user application example using LOGO. Line 1 prepares an RspRDD object for the specified RSP data file. Line 2 takes □□RSP partitions. Line 3 preprocesses each data partition. Line 4 executes function LO() on each RSP partition and returns *m* local models. Line 5 executes function GO() that produces the final result by merging the *m* local models. Line 6 saves the final model in HDFS at filepath.

```
1: val rspRDD = sparkContext.rspTextFile(rspfilepath)
2: val dataRDD = rspRDD.getSubPartitions(m)
3: val trainRDD = dataRDD.LO(preProcess())
4: val modelRDD = trainRDD.LO(L_Algorithm())
5: val resultRDD = modelRDD.GO(G_Algorithm())
6: resultRDD.save(filepath)
```

We can see from this example that using LOGO, it becomes easier to write a user application for an analytical task.

### *3. Machine learning algorithms under LOGO*

Machine learning algorithms are widely used in big data analytics, and most of them are iterative over data sets to search for an optimal solution. Non-MapReduce computing has advantages in executing iterative machine learning algorithms under LOGO. Below, we use three types of machine learning algorithms for supervised learning, unsupervised learning, and pattern mining to demonstrate how these algorithms work under LOGO.

3.1 Supervised Learning Algorithms In the LOGO framework, a supervised learning algorithm trains a model on each computing node using local RSP blocks in the local phase and aggregates all local models into the final model in the global phase. Local Phase. It follows the routine below.

(i) The local function is executed on each LO worker. It divides the local input RSP partition into a training set and a testing set.

(ii) It calls the corresponding supervised learning algorithm and generates a

local model on the training set.

(iii) It obtains the accuracy of the local model based on the testing set.

(iv) It sends the local model to the GO worker. Global Phase. Given the local models produced by LO workers, we proceed to introduce how to design the global function that merges the local models. There exist different methods to combine them, e.g., weighted averaging[22–24], voting[25–27], relearning[26, 28, 29], etc.We adopt the idea of the voting method and propose global function G_SupervisedLearning. It takes a set of local models, each of which is associated with an accuracy. The set of local models is sorted in ascending order of their accuracy. Based on the central limit theorem[30], the first and last 5% of the ranked local modes are removed, which helps increasing the confidence of the prediction results. Let *M* be the set of remaining local models. For each data record in the input dataset *D*, it produces the predicted label by taking the majority voting [31] of the local models in *M*.

### *3.2 Unsupervised Learning Algorithms*

In the LOGO framework, a unsupervised learning algorithm performs clustering on each computing node using local RSP blocks in the local phase. The clustering results on all computing nodes are aggregated in the global phase. Local Phase. It follows the routine below.

(i) The local function is executed on each LO worker. It calls the corresponding unsupervised learning algorithm in SMILE (https://pypi.org/project/smile) and generates a local model on the local RSP partition.

(ii) Each local model consists of a set of cluster centers, which is sent to the GO worker.

***Global Phase.*** Given the sets of cluster centers generated by LO workers, the global function executes a clustering process on all local cluster centers and returns new cluster centers □□Then, each data point is assigned to its nearest cluster centers in □□

### *3.3 Frequent Itemset Mining Algorithms*

In the LOGO framework, we design and implement two algorithms for the frequent itemset mining, i.e., FIM_I and FIM_II. Both algorithms compute approximate frequent itemsets using a set of *m* RSP partitions, given the support threshold $\delta$. Algorithm FIM_I contains three times of communication. Firstly, each LO worker computes the local frequent itemsets *SL* by executing an existing frequent itemset mining algorithm, e.g., FPGrowth algorithm [32], on the local RSP partition. Then, the LO workers send their local results (itemset-count pairs) to the GO worker. After the GO worker unions the received itemsets and aggregates the count by itemset, it broadcasts the unioned set *SG* to the LO workers. Next, each LO worker computes the counts of the itemsets in $SL \backslash SG$ and send the results to the GO worker. In the end, the GO worker updates the counts of the itemsets in *SG* and finalizes the

frequent itemsets. The support of each itemset is calculated by count $/(m \times T)$, where $m$ is the number of RSP partitions and $T$ is the number of transactions in each RSP partition. Fig. 5 illustrates the workflow of algorithm FIM_I on the left side. In step○1 , three LO workers compute their local frequent itemsets *SL* and send the local results to the GO worker. In step○2 , the GO worker broadcasts the unioned set *SG*={{*a, b*}, {*b,c*}, {*c,d*}, {*d,e*}} to LO workers. In step ○3 , each LO worker computes the counts of the itemsets in *SG**SL*. Then, to the GO worker, LO Worker I sends ({*c,d*}, 4), LO Worker II sends ({*d,e*}, 4), and LO Worker III sends ({*d,e*}, 4). In the end, the GO worker finalizes the counts of the itemsets. Given $m$= 3, $T$= 10, and the support threshold $\delta$= 0.5, the frequent itemsets are {*a, b*}, {*b,c*}, and {*c,d*}.

Algorithm FIM_II only communicates once. Firstly, similar to algorithm FIM_I, all LO workers compute frequent itemsets on their own RSP partitions and send the local results to the GO worker. Besides unioning and aggregating the received local results, the GO worker additionally collects the votes of each itemset from LO workers. If an itemset appears in the local results of a LO worker, it receives one vote [33]. Then, at the GO worker side, for the itemsets whose voting ratio votes/$m$ is larger than $\lambda$, its count is updated as count = count/votes. Next, the support of each itemset is calculated by count/$T$. In the end, the frequent itemsets are finalized according to the given support threshold $\delta$. Fig. 5 illustrates the workflow of algorithm FIM_II on the right side, where $\lambda$ = 50%, $m$ = 3, $T$= 10, and $\delta$= 0.5. In step ○1 , three LO workers compute their local frequent itemsets and send the local results to the GO worker. Then, the GO worker aggregates the counts by itemsets and collects the votes. In step○2 , since the voting ratio of itemset {*d,e*} is 1/3 which is less than λ= 50%, it is discarded. Next, the counts of the other three itemsets are updated. In the end, the frequent itemsets are {*a, b*}, {*b,c*}, and {*c,d*}.

### *4. Performance*

To demonstrate the efficiency and the effectiveness of the LOGO computing framework, we compare it with three configurations of Spark:

• Spark: Running algorithms on the Spark by taking the entire dataset.

• Online-Sample-Spark: First calling the built-in sampling operator in the Spark to get a sample data (5% of the original dataset) and then running algorithms on the sample data.

• Sample-Spark: the same as Online-Sample-Spark, but excluding the time cost of the sampling operation.

All the evaluations run on a cluster comprising 32 compute nodes. Among them, 24 nodes each has two Intel Xeon E5-2650 CPUs with

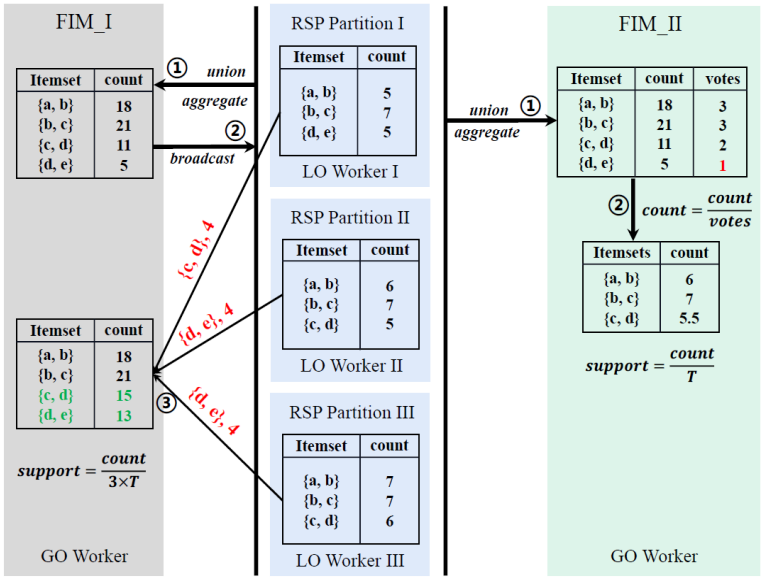



*Fig. 5: Frequent itemset mining algorithms in LOGO.*

16 cores at 2.6GHz and 128GB main memory, and 8 nodes each has two Intel Xeon E5-2630 CPUs with 12 cores at 2.6GHz and 128GB main memory. Spark 2.4.0 and YARN 3.0.0 are running on the cluster. For each algorithm, we use YARN to allocate at most 100 executors and 1.6TB main memory.

### *4.1 Performance of the supervised learning algorithms*

We use 100-dimensional datasets to evaluate the performance of four supervised learning algorithms: decision tree, random forest, logistic regression, and SVM. Figures 6 and 7 show the running time and the accuracy of four supervised learning algorithms on LOGO and the three configurations of Spark, when varying the dataset size from 50GB to 10TB. The running time of Spark increases exponentially as the dataset size increases. Its computational cost is high when the dataset size is larger than 1.5TB. It is because that Spark executes the supervised learning algorithms on the entire dataset and the iterations in the algorithms cause high communication cost. Both Online-Sample-Spark and Sample-Spark execute the supervised learning algorithms on a sample of the entire dataset. Thus, the running time of them increase linearly as the dataset size increases. However, when the dataset size is larger than 2TB, the running time of Online-Sample-Spark rises rapidly. It is because the online sampling is slow on large datasets. Excluding the cost of the online sampling, it is observed that Sample-Spark and LOGO are close in terms of the running time. Nevertheless, LOGO is faster than Sample-Spark. The reason is that on the same amount of data, Sample-Spark has communication cost at the end of each iteration, while LOGO performs iterations locally and only has communication cost when all iterations terminate. Excluding the online sampling operation, Online-Sample-Spark and Sample-Spark are the same and have the same results and accuracy. Spark learns models on the entire dataset, while Online-Sample-Spark and Sample-Spark have the same learning process but using a sample of the dataset. Hence, the accuracy of Spark

is higher than Online-Sample-Spark and Sample-Spark. For the decision tree and the random forest algorithms, the accuracy of LOGO is better than that of Spark. It is because that the learning process in LOGO is similar to the ensemble learning which has been shown as an effective strategy for the decision tree and the random forest algorithms [34, 35]. Thus, although LOGO learns models on a sample of the dataset, it achieves better performance than Spark. Whereas, for the logistic regression and the SVM algorithms, the accuracy of LOGO is close to that of Spark. The reason might be that the accuracy of Spark is high, i.e., above 90%, so that the room of improvement is limited.

### *4.2 Performance of the unsupervised learning algorithms*

We use 100-dimensional datasets to evaluate the performance of two unsupervised learning algorithms: Kmeans and Bisecting Kmeans. Figures 8 and 9 show the running time, the purity, and the C-dist of two unsupervised learning algorithms on LOGO and the three configurations of Spark, when varying the dataset size from 50GB to 10TB.

Similar to the evaluation results of the supervised learning algorithms, the running time of Spark increases rapidly and it is impractical for Spark to deal with dataset larger than 1TB. The online sampling operation is expensive when the dataset size is larger than 2TB. Excluding the cost of online sampling, the running time of Sample-Spark and LOGO are similar for the Kmeans algorithm and LOGO is faster than Sample-Spark regarding the bisecting Kmeans algorithm.

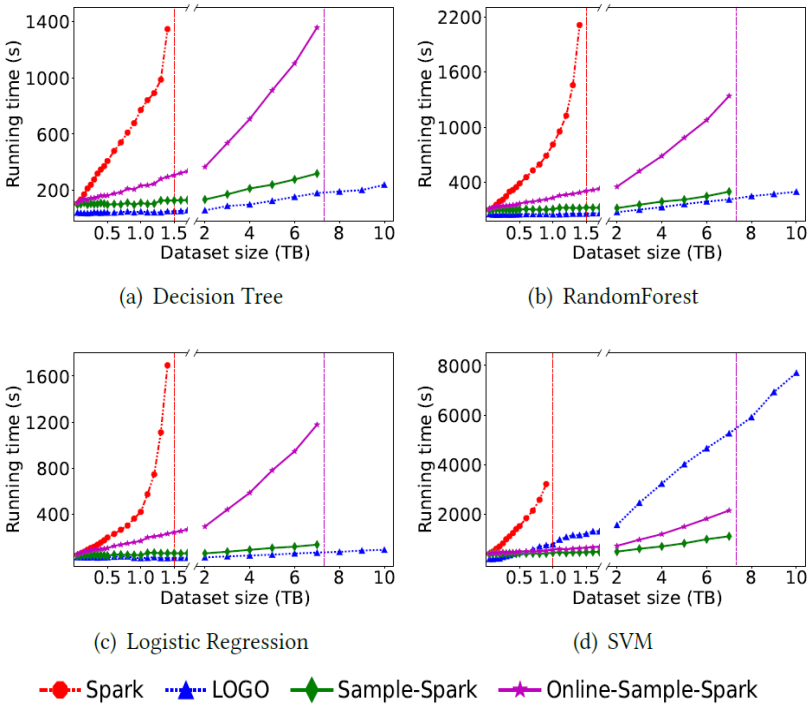



*Fig. 6: Running time of the supervised learning.*

The reason is that on the same amount of data, the communication cost of LOGO is lower than that of Sample-Spark. We evaluate the quality of the discovered clusters in terms of the Purity (the higher the better) and the C-dist (the lower the better). As shown in Figure 9, having the same clustering process, since Spark uses the entire dataset while Sample-Spark and Online-Sample-Spark use a sample data, Spark achieves better performance. The quality of the clusters found by LOGO is similar to that of Spark.

### *4.3 Performance of frequent itemset mining algorithms*

Fig. 10(a) shows the running times of frequent itemset mining algorithms on Spark and LOGO when varying the number of transactions. The support threhold is set to 0.15. For the datasets containing less than 2.75 millions transactions, we organize 5000 transactions as one data block. For the datasets with more than 2.75 millions transactions, one data block contains 1 million transactions. The running time of Spark is extremely high when handling 2.75 millions of transactions. The reason is that the FP-Growth algorithm in the Spark library [36] builds an distributed FP-tree on all partitions and recursively extracts frequent itemsets. It generates a large number of intermediate variables, which requires large memory size and is time-consuming. Both Online-Sample-Spark and Sample-Spark also adopt the FP-Growth algorithm in the Spark library.

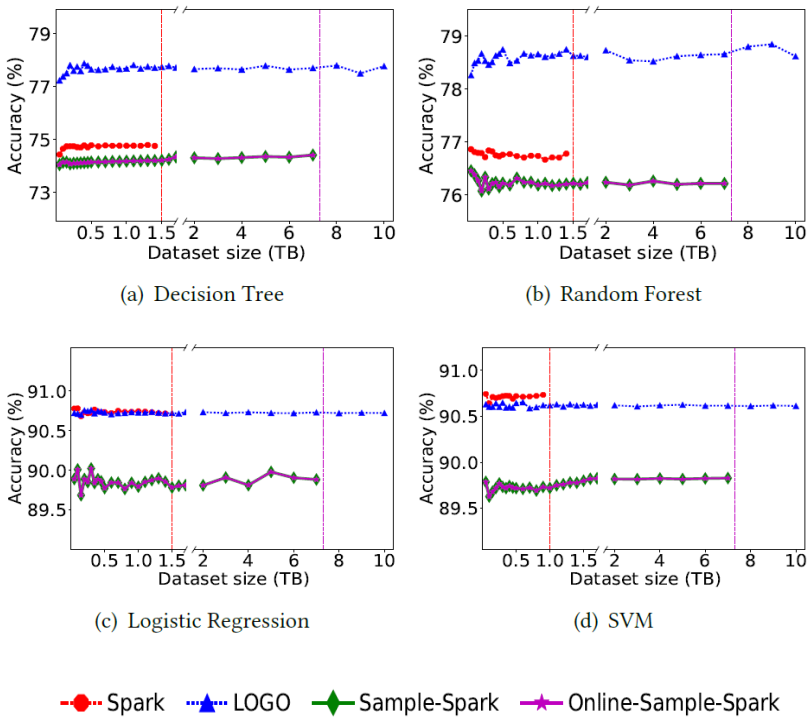



*Fig. 7: Accuracy of the supervised learning.*

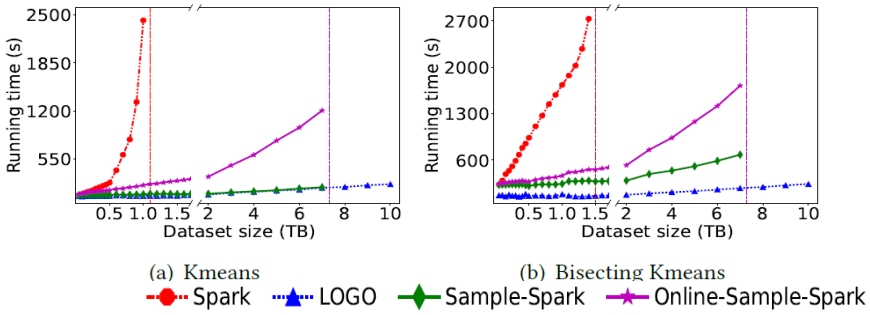



*Fig. 8: Running time of the unsupervised learning.*

Due to the same reason of Spark, they cannot respond in a reasonable time when the number of transactions exceeds 60 millions. Algorithms FIM_I and FIM_II on LOGO are able to handle 1 billion transactions. Their running times increase sub-linearly as the number of transactions increases. The computational cost of algorithm FIM_I is slightly higher than that of algorithm FIM_II, because FIM_I contains one more round of communications. Figures 10(b) and 10(c) show the precision and the recall of algorithms FIM_I and FIM_II on LOGO, by taking the frequent itemsets found by Spark as the ground truth. The precision and the recall of FIM_I fluctuates around 98% when the number of transactions varies from 105 to 107.

The precision of FIM_II is below 90% when the number of transactions varies from 105 to 107. The reason is that both algorithms use the frequent itemsets in samples to approximate the real results. It happens that some infrequent itemsets turn to be frequent in the samples. When the dataset is small, this randomness affects the precision of the results.

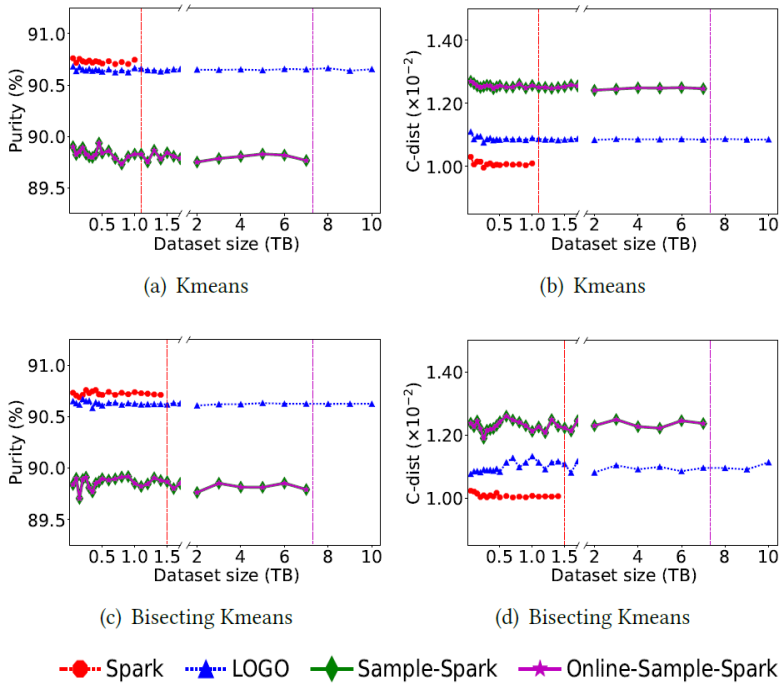
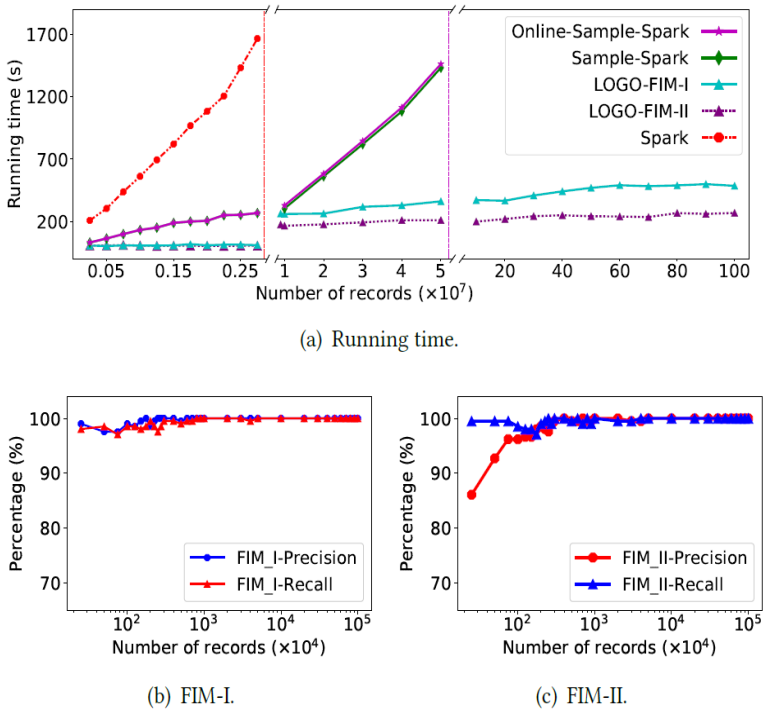



*Fig. 9: Purity and C-dist of the unsupervised learning.*




(a) Running time.

(b) FIM-I.

(c) FIM-II.

*Fig. 10: Frequent itemset mining.*

However, when the dataset is large, this effect can be ignored. As shown in the figures, the precision and the recall of FIM_I and FIM_II are close to 100% when the number of transactions exceeds 108. Overall, FIM_I is better than FIM_II in terms of the accuracy of the results. Because FIM_I has one more round of communication to share information among the computing nodes. Whereas, FIM_II is better than FIM_I in terms of the running time. Hence, for the frequent itemset mining, LOGO is superior to Spark, Online-Sample-Spark and Sample-Spark in terms of running time and the scalability. Moreover, the approximate results provided by algorithms FIM_I and FIM_II are close to the ground truth.

## *5. Conclusions*

In this paper, we propose a Non-MapReduce paradigm for distributed big data analytics. It takes random sample partitions instead of the entire dataset as the input. By adopting this approach, iterative algorithms perform iterations on data partitions parallelly and independently, so that the I/O and the communication costs are significantly reduced. The output is the aggregation of the results obtained from data partitions. We implement the Non-MapReduce paradigm by extending Spark and introduce the LOGO computing framework. It is I/O and communication efficient, capable of performing iterative analytical algorithms on terabytescale datasets, and has simple parallel programming model. We also apply the LOGO framework to commonly used supervised learning, unsupervised learning, and frequent itemset

mining algorithms. The experimental results demonstrate the efficiency and effectiveness of LOGO.

## *1. Введение*

Аналитика больших данных позволяет принимать решения на основе данных, что нашло успешное применение в «умных» городах [1], обнаружении мошенничества [2–4], диагностике и прогнозировании заболеваний [5, 6], промышленном производстве [7, 8], прогнозировании погоды. [9] и т. д. В настоящее время мы наблюдаем массовый рост спроса на обработку и анализ больших данных. Согласно отчету Statista (https://www.statista.com), общий объем данных, генерируемых в мире, составит около 97 зеттабайт в 2022 году, и ожидается, что к 2025 году он вырастет до 181 зеттабайт. Об этом свидетельствует Precedence Согласно исследованию (https://www.precedenceresearch.com/data-analytics-market), размер мирового рынка анализа данных в 2022 году составил 41,39 миллиарда долларов США, а к 2030 году, по прогнозам, он превысит 346,33 миллиарда долларов США.

В настоящее время для обработки больших данных широко применяются распределенные вычислительные платформы и системы [10], поскольку обрабатывать и анализировать большие данные с помощью одной машины непомерно дорого или физически невозможно. Популярные распределенные платформы общего назначения, такие как Hadoop (https://hadoop.apache.org) и Spark (https://hadoop.apache.org), используют архитектуру MapReduce, показанную на рис. 1. Большие файлы данных делятся на более мелкие блоки и хранятся в распределенной файловой системе. Задачи анализа выполняются путем проведения итераций операций отображения и преобразования над этими блоками. Итерация состоит из фаз Mapper и Reducer. Операция перетасовки между фазами Mapper и Reducer предполагает передачу данных N-N. Накладные расходы на связь возникают на каждой итерации и пропорциональны количеству итераций в алгоритме [11].

Собственные распределенные системы машинного обучения, такие как TensorFlow [12], MXNeT [13], DIANNE [14] и PyTorch [15], следуют архитектуре сервера параметров, показанной на рисунке 2. Каждый рабочий узел вычисляет локальные параметры, используя локальные данные. ЦП отвечает за инициализацию, хранение и обновление параметров, а графический процессор преобразует входные данные в тензоры и обучает модель. Затем параметры глобальной модели агрегируются и обновляются на узлах сервера. Этот процесс является итеративным, где на каждой итерации рабочие узлы должны взаимодействовать с серверным узлом.

Обычно используемые аналитические алгоритмы, такие как классификация [16], кластеризация [17] и анализ шаблонов [18], являются итеративными,

которые требуют многократного сканирования и обработки всего набора данных. Следовательно, архитектуры MapReduce и сервера параметров имеют

*Рис.1: Архитектура MapReduce.*

*Рис. 2: Архитектура сервера параметров.*

следующие ограничения при выполнении итерационных алгоритмов обработки больших данных.

• Высокая стоимость связи. В MapReduce и сервере параметров стоимость связи возникает между двумя последовательными итерациями при выполнении итерационных алгоритмов. Всем машинам необходимо отправлять и получать данные и параметры перед переходом на следующую итерацию. Таким образом, стоимость связи существенно возрастает по мере увеличения количества итераций и объема данных.

• Высокие требования к оперативной памяти. Когда объем данных превышает емкость основной памяти (ОЗУ) в системе, это приводит к частой подкачке памяти, при которой данные перемещаются между основной памятью и дополнительным хранилищем, что занимает много времени. Spark снижает затраты на ввод и вывод данных за счет использования абстракции распределенных данных в памяти, называемой устойчивыми распределенными наборами данных (RDD). Однако для обработки больших данных требуется большой объем оперативной памяти. Это непрактичное решение при быстром росте объема данных.

• Неудобная модель параллельного программирования. Преобразование аналитических алгоритмов в соответствующие параллельные версии в существующих распределенных системах утомительно и сложно. Программистам приходится переписывать аналитические алгоритмы, используя доступные программные интерфейсы. Более того, отладка и оптимизация параллельных программ зачастую сложна и требует много времени.

Вышеупомянутые ограничения можно устранить путем разделения большого набора данных на блоки данных, которые представляют собой случайные выборки большого набора данных, например, модель данных разделения случайной выборки (RSP) [19]. Такое представление данных позволяет обрабатывать каждый блок данных независимо в вычислительном узле с помощью итеративного алгоритма, а также обрабатывать множество блоков данных с помощью одного и того же алгоритма в массовом параллельном режиме. Результаты блока данных затем передаются на главный узел для вычисления окончательного результата. Этот подход без MapReduce, который мы обсудим в этой статье, имеет следующие преимущества в анализе больших данных.

(i) Масштабируемость. При обработке растущего объема данных, например

данных терабайтного масштаба, итеративные алгоритмы способны реагировать в разумные сроки.

(ii) Эффективность ввода-вывода. Если разделы данных и промежуточные результаты не помещаются в памяти, подкачка памяти выполняется нечасто.

(iii) Сокращение общения. При выполнении итераций затраты на связь между вычислительными узлами остаются низкими.

(iv) Простая модель параллельного программирования для итерационных алгоритмов. Сложные итеративные алгоритмы можно легко упаковать в виде операторов для параллельного выполнения.

Оставшаяся часть этой статьи организована следующим образом. Сначала мы рассмотрим основные технологии вычислений без MapReduce — модель данных RSP и структуру LOGO, а также их реализацию в Spark. Затем мы используем три типа алгоритмов машинного обучения: обучение с учителем, обучение без учителя и анализ шаблонов, чтобы проиллюстрировать основные этапы вычислений без использования MapReduce при выполнении этих итерационных алгоритмов над большими наборами данных. Наконец, мы предоставляем смоделированные результаты, чтобы продемонстрировать производительность, эффективность и масштабируемость данных вычислений без MapReduce при запуске алгоритмов машинного обучения над большими наборами данных до 10 ТБ. Мы завершаем эту статью кратким обзором преимуществ вычислений без MapReduce в анализе больших данных.

## *2. Вычисления без использования Mapreduce*

Вычисления без использования MapReduce основаны на двух основных технологиях: модели данных RSP [19], которая позволяет использовать блоки данных распределенного файла данных в качестве случайных выборок файла больших данных, и платформе LOGO, которую мы предлагаем в этой статье для включить вычисления без MapReduce. Эти две технологии подробно описаны в следующих двух разделах, за которыми следует реализация в Spark.

### *2.1 Модель данных RSP*

Распределенный файл данных сохраняется как набор блоков данных, которые распределены по узлам кластера и управляются распределенной файловой системой, например HDFS [20]. Раздел случайной выборки или модель данных RSP представляет собой большой набор данных в виде раздела блоков данных RSP [19], которые также сохраняются распределенным образом и управляются HDFS. Однако каждый блок данных RSP создается с помощью алгоритма разделения случайной выборки [21] случайной выборки большого набора данных, поэтому его можно использовать для вычисления статистических оценок большого набора данных.

Формально пусть $D = \{r_1, r_2, \ldots, r_N\}$ это многомерный набор данных из

N записей. Каждая запись данных $r_i = \{x_1, x_2, ..., x_M\}$ имеет M признаков, где каждый признак xi является случайной величиной. Пусть T — алгоритм разделения случайной выборки, который делит D на K непересекающихся подмножеств $D_1, D_2, ..., D_K$ , которые удовлетворяют следующим трем условиям:

Formally, let $D = \{r_1, r_2, ..., r_N\}$ be a multivariate data set of *N* records. Each data record $r_i = \{x_1, x_2, ..., x_M\}$ has *M* features, where each feature $x_i$ is a random variable. Let *T* be a random sample partitioning algorithm that divides *D* into *K* nonoverlapping subsets $D_1, D_2, ..., D_K$ which satisfy the following three conditions:

$$(i)\, D = U_{i=1}^{K} D_i, (ii)\, D_i \cap D_j = \emptyset, 1 \leqslant i, j \leqslant K, i \neq j,$$

$$(iii) |F(D_i) - F(D)| < \delta, 1 \leqslant i \leqslant K ,$$

где F() — кумулятивная функция распределения (CDF) набора данных, а δ — небольшая положительная константа. Это условие гласит, что CDF всех блоков данных RSP должны быть аналогичны CDF набора данных.

Набор $D_1, D_2, ..., D_K$ называется моделью данных RSP D. Алгоритм T в [21] работает следующим образом: первоначально блоки данных хранятся на n машинах (также известных как узлы). Предположим, что каждый узел хранит K блоков данных. На каждом узле все записи в каждом блоке данных рандомизируются, а затем каждый блок данных разбивается на K мини-блоков. Эта процедура выполняется параллельно на всех узлах. После этого каждый узел получает по одному мини-блоку от каждого из всех остальных узлов, а затем объединяет их со своим локальным мини-блоком. В конце исходный набор данных реорганизуется в блоки RSP и сохраняется в HDFS. На рисунке 3 показан рабочий процесс программы.

### *2.2 Структура логотипа*

Учитывая набор данных D в качестве модели данных RSP, в вычислениях без MapReduce аналитическая задача D выполняется в рамках вычислительной среды локальных операций с глобальными операциями (LOGO) на товарных кластерах. Архитектура LOGO состоит из двух уровней: уровня данных и уровня вычислений, как показано на рис. 4.

На уровне данных файлы данных принимают форму блоков RSP, которые распределены по n узлам. Обычно блок RSP соответствует случайной выборке файла данных, подлежащей анализу. На вычислительном уровне процесс выполнения аналитической задачи состоит из локальной фазы и глобальной фазы. Один узел отвечает за глобальную фазу, называемую мастером GO. Все узлы могут присоединиться к локальной фазе, называемой рабочими LO.

*Рис. 3: Рабочий процесс алгоритма T.*

Локальная фаза. Каждый исполнитель LO выполняет локальную операцию над своим собственным блоком данных RSP, не обмениваясь данными с другими исполнителями. Локальная операция может быть простым алгоритмом или очень итеративным. В конце локального этапа создается локальная модель на основе одного блока данных RSP. Глобальная фаза.

*Рис. 4.*
*① Стоимость ввода-вывода: чтение блоков RSP. ② Локальные итерации. ③ Стоимость связи: передача местных результатов. ④ Стоимость ввода-вывода: запись окончательных результатов.*

Когда все рабочие LO завершают свои локальные задачи, мастер GO получает уведомление и использует удаленные вызовы процедур для чтения локальных моделей от всех рабочих LO. Он выполняет глобальную операцию, объединяющую все локальные модели и сохраняющую окончательную модель в хранилище. В отличие от MapReduce, который выполняет итерационный алгоритм путем итерации множества пар операций отображения и сокращения, возникающих из-за больших затрат на передачу данных, в рамках LOGO итерационный алгоритм завершает выполнение в рабочих процессах LO параллельно без необходимости передачи данных. Следовательно, он очень эффективен при выполнении итерационных алгоритмов.

### *2.3 Реализация в Spark*

Вычисления без использования MapReduce с моделью данных RSP и вычислительной платформой LOGO реализованы в HDFS (https://hadoop.apache.org/docs/r1.2.1/hdfs_design.html) и Spark. Следующие три основных компонента подробно описаны ниже. (i) Абстракция RspRDD. Spark использует RDD для обмена данными между вычислениями. Мы следуем этой идее и создаем абстракцию совместного использования данных под названием RspRDD, расширяя RDD в Spark. Блоки RSP в HDFS представлены в Spark объектом RspRDD, которым можно манипулировать параллельно, например, класс RspRDD[T: ClassTag](prev: RDD[T]) расширяет RDD[T](prev){...} (ii) Преобразование RSP. Мы предоставляем функцию RandomizeAndSlice() для рандомизации записей в блоке данных и разрезания блока данных на K мини-блоков. Пользователи могут использовать его в следующем фрагменте кода ниже (Spark API в Scala), чтобы преобразовать блоки данных в HDFS в блоки данных RSP. В строке 1 указывается файл данных, который необходимо преобразовать, и количество K разделов в RDD. В строке 2 функция RandomizeAndSlice() передается функции Spark API MapPartitions(), так что локальная рандомизация и нарезка выполняются для каждого блока данных на всех узлах. Затем каждому мини-блоку назначается целочисленный ключ в

диапазоне [1,K]. Строка 3 вызывает функцию Spark API уменьшитьByKey(), так что мини-блоки передаются и объединяются, в результате чего на каждом узле создаются блоки RSP. Наконец, строка 4 сохраняет эти блоки RSP в файле HDFS.

```
1: val RDD1 = sparkContext.textFile(путь к файлу, K)
2: val RDD2 = RDD1.mapPartitions(RandomizeAndSlice())
3: val rspRDD = RDD2.reduceByKey()
4: rspRDD.saveAsTextFile(rspfilepath)
```

(iii) API-интерфейсы логотипа. Локальная операция и глобальная операция в структуре LOGO выражаются функциями LO() и GO() соответственно. Входные блоки RSP как разделы RDD сначала обрабатываются функцией LO(), которая выводит локальную модель для каждого раздела RSP. Функция GO() объединяет все локальные модели, созданные функцией LO(), и выводит окончательную модель. API-интерфейсы LOGO поддерживают несколько языков программирования, таких как Java, Scala и Python. Подробности функций LOGO API описаны ниже.

• rspTextFile(rspfilepath): загружает файл данных RSP в HDFS и возвращает объект RspRDD, который представляет блоки данных RSP как разделы RSP в RDD.

• getSubPartitions(m): случайным образом выбирает m% разделов RSP.

• LO(L_Algorithm()): принимает функцию L_Algorithm(), которая определяется пользователем и может быть любым аналитическим алгоритмом. Он отправляет функцию L_Algorithm() всем работникам LO. Каждый исполнитель LO применяет функцию L_Algorithm() к своему разделу RSP, а затем создает локальную модель из каждого раздела RSP. Аналогично, допустимо также использование LO(preProcess()), которое определяет функцию подготовки данных для каждого раздела RSP. Например, запуск LO(preProcess()) перед LO(L_Algorithm()) указывает на предварительную обработку данных перед моделированием.

• GO(G_Algorithm()): принимает определяемую пользователем функцию G_Algorithm(), которая объединяет все локальные модели и создает окончательную модель. Клиентская программа. В приведенном ниже фрагменте кода в Scala показан пример пользовательского приложения с использованием LOGO. Строка 1 подготавливает объект RspRDD для указанного файла данных RSP. Строка 2 принимает разделы RSP. Строка 3 предварительно обрабатывает каждый раздел данных. Строка 4 выполняет функцию LO() для каждого раздела RSP и возвращает m локальных моделей. В строке 5 выполняется функция GO(), которая дает конечный результат путем слияния m локальных моделей. Строка 6 сохраняет окончательную модель в HDFS по пути к файлу.

```
1: val rspRDD = sparkContext.rspTextFile(rspfilepath)
2: val dataRDD = rspRDD.getSubPartitions(m)
```

3: val trainRDD = dataRDD.LO(preProcess())
4: val modelRDD = trainRDD.LO(L_Algorithm())
5: val resultRDD = modelRDD.GO(G_Algorithm())
6: resultRDD.save(путь к файлу)

Из этого примера видно, что с помощью LOGO становится проще написать пользовательское приложение для аналитической задачи.

### *3. Алгоритмы машинного обучения под LOGO*

Алгоритмы машинного обучения широко используются в анализе больших данных, и большинство из них итеративно обрабатывают наборы данных для поиска оптимального решения. Вычисления, отличные от MapReduce, имеют преимущества при выполнении итеративных алгоритмов машинного обучения под LOGO. Ниже мы используем три типа алгоритмов машинного обучения: обучение с учителем, обучение без учителя и анализ шаблонов, чтобы продемонстрировать, как эти алгоритмы работают под LOGO.

3.1 Алгоритмы обучения с учителем В структуре LOGO алгоритм обучения с учителем обучает модель на каждом вычислительном узле с использованием локальных блоков RSP на локальной фазе и объединяет все локальные модели в окончательную модель на глобальной фазе. Локальная фаза. Это следует процедуре, приведенной ниже.

(i) Локальная функция выполняется на каждом работнике LO. Он делит локальный входной раздел RSP на обучающий набор и тестовый набор.

(ii) Он вызывает соответствующий алгоритм обучения с учителем и генерирует локальную модель на обучающем наборе.

(iii) Он получает точность локальной модели на основе тестового набора.

(iv) Он отправляет локальную модель работнику GO. Глобальная фаза. Учитывая локальные модели, созданные работниками LO, мы переходим к описанию разработки глобальной функции, объединяющей локальные модели. Существуют различные методы их объединения, например, взвешенное усреднение[22–24], голосование[25–27], повторное обучение[26, 28, 29] и т. д. Мы принимаем идею метода голосования и предлагаем глобальную функцию G_SupervisedLearning. Требуется набор локальных моделей, каждая из которых связана с определенной точностью. Набор локальных моделей отсортирован в порядке возрастания их точности. На основании центральной предельной теоремы[30] удаляются первые и последние 5% ранжированных локальных мод, что помогает повысить достоверность результатов прогнозирования. Пусть M — множество оставшихся локальных моделей. Для каждой записи данных во входном наборе данных D он создает прогнозируемую метку, приняв большинство голосов [31] локальных моделей в M.

### *3.2 Алгоритмы обучения без учителя*

В структуре LOGO алгоритм обучения без учителя выполняет кластеризацию на каждом вычислительном узле с использованием локальных блоков RSP на локальной фазе. Результаты кластеризации на всех вычислительных узлах агрегируются на глобальной фазе. Локальная фаза. Это следует процедуре, приведенной ниже.

(i) Локальная функция выполняется на каждом работнике LO. Он вызывает соответствующий алгоритм неконтролируемого обучения в SMILE (https://pypi.org/project/smile) и генерирует локальную модель в локальном разделе RSP.

(ii) Каждая локальная модель состоит из набора кластерных центров, который отправляется работнику GO.

Глобальная фаза. Учитывая наборы центров кластеров, сгенерированные рабочими LO, глобальная функция выполняет процесс кластеризации во всех локальных центрах кластеров и возвращает новые центры кластеров □□Затем каждая точка данных присваивается ближайшему центру ее кластера в □□

### *3.3 Часто встречающиеся алгоритмы интеллектуального анализа наборов элементов*

В структуре LOGO мы разрабатываем и реализуем два алгоритма для частого анализа наборов элементов, то есть FIM_I и FIM_II. Оба алгоритма вычисляют приблизительные часто встречающиеся наборы элементов, используя набор из m разделов RSP, учитывая порог поддержки δ. Алгоритм FIM_I содержит три раза связи. Во-первых, каждый исполнитель LO вычисляет локальные часто встречающиеся наборы элементов SL, выполняя существующий алгоритм анализа часто встречающихся наборов элементов, например, алгоритм FPGrowth [32], в локальном разделе RSP. Затем рабочие LO отправляют свои локальные результаты (пары «набор элементов-количество») рабочему GO. После того как рабочий GO объединяет полученные наборы элементов и суммирует счетчик по набору элементов, он передает объединенный набор SG рабочим LO. Затем каждый исполнитель LO вычисляет количество наборов элементов в SL\SG и отправляет результаты работнику GO. В конце концов, исполнитель GO обновляет количество наборов элементов в SG и завершает частые наборы элементов. Поддержка каждого набора элементов рассчитывается по счетчику, где m — количество разделов RSP, а T — количество транзакций в каждом разделе RSP. На рис. 5 показан рабочий процесс алгоритма FIM_I слева. На шаге○1 три исполнителя LO вычисляют свои локальные часто встречающиеся наборы элементов SL и отправляют локальные результаты работнику GO. На шаге ○2 исполнитель GO передает объединенный набор SG={{a, b}, {b,c}, {c,d}, {d,e}} работникам LO. На шаге ○3 каждый исполнитель LO вычисляет количество наборов элементов в SG\SL.

Затем работнику GO работник LO I отправляет ({c,d}, 4), работник LO II отправляет ({d,e}, 4), а работник LO III отправляет ({d,e}, 4). В конце концов, работник GO завершает подсчет наборов элементов. Учитывая m = 3, T = 10 и порог поддержки δ = 0,5, частыми наборами элементов являются {a, b}, {b,c} и {c,d}.

Алгоритм FIM_II обменивается данными только один раз. Во-первых, аналогично алгоритму FIM_I, все исполнители LO вычисляют часто встречающиеся наборы элементов в своих собственных разделах RSP и отправляют локальные результаты работнику GO. Помимо объединения и агрегирования полученных локальных результатов, работник GO дополнительно собирает голоса каждого набора элементов от работников LO. Если набор элементов появляется в локальных результатах работника LO, он получает один голос [33]. Затем на стороне рабочего GO для наборов элементов, у которых коэффициент голосования голосов/m больше λ, их счетчик обновляется как count = count/votes. Затем поддержка каждого набора элементов рассчитывается по числу count/T. В конце концов, наборы частых элементов дорабатываются в соответствии с заданным порогом поддержки δ. На рис. 5 справа показан рабочий процесс алгоритма FIM_II, где λ = 50%, m = 3, T = 10 и δ = 0,5. На шаге ○1 три исполнителя LO вычисляют свои локальные часто встречающиеся наборы элементов и отправляют локальные результаты работнику GO. Затем исполнитель GO суммирует подсчеты по наборам элементов и собирает голоса. На шаге ○2, поскольку коэффициент голосования набора элементов {d,e} равен 1/3, что меньше λ = 50%, он отбрасывается. Затем обновляются счетчики трех других наборов элементов. В конце концов, наиболее часто встречающимися наборами элементов являются {a, b}, {b,c} и {c,d}.

### *4. Производительность*

Чтобы продемонстрировать эффективность и результативность вычислительной среды LOGO, мы сравниваем ее с тремя конфигурациями Spark:

• Spark: запуск алгоритмов в Spark с использованием всего набора данных.

• Online-Sample-Spark: сначала вызывается встроенный оператор выборки в Spark, чтобы получить выборочные данные (5 % исходного набора данных), а затем выполняются алгоритмы на выборочных данных.

• Sample-Spark: то же самое, что Online-Sample-Spark, но без учета временных затрат на операцию выборки.

Все оценки выполняются в кластере, состоящем из 32 вычислительных узлов. Среди них 24 узла имеют по два процессора Intel Xeon E5-2650 c

*Рис. 5: Алгоритмы анализа часто встречающихся наборов элементов в LOGO.*

16 ядер с частотой 2,6 ГГц и 128 ГБ основной памяти, а 8 узлов имеют по два процессора Intel Xeon E5-2630 с 12 ядрами с частотой 2,6 ГГц и 128 ГБ основной памяти. В кластере работают Spark 2.4.0 и YARN 3.0.0. Для каждого алгоритма мы используем YARN, чтобы выделить не более 100 исполнителей и 1,6 ТБ оперативной памяти.

### *4.1. Производительность алгоритмов обучения с учителем*

Мы используем 100-мерные наборы данных для оценки производительности четырех алгоритмов обучения с учителем: дерево решений, случайный лес, логистическая регрессия и SVM. На рисунках 6 и 7 показано время работы и точность четырех контролируемых алгоритмов обучения в LOGO и трех конфигурациях Spark при изменении размера набора данных от 50 ГБ до 10 ТБ. Время работы Spark увеличивается экспоненциально по мере увеличения размера набора данных. Его вычислительные затраты высоки, если размер набора данных превышает 1,5 ТБ. Это связано с тем, что Spark выполняет контролируемые алгоритмы обучения для всего набора данных, а итерации в алгоритмах вызывают высокие затраты на связь. И Online-Sample-Spark, и Sample-Spark выполняют алгоритмы контролируемого обучения на выборке всего набора данных. Таким образом, время их работы увеличивается линейно по мере увеличения размера набора данных. Однако если размер набора данных превышает 2 ТБ, время работы Online-Sample-Spark быстро возрастает. Это связано с тем, что онлайн-выборка больших наборов данных выполняется медленно. Если исключить стоимость онлайн-семплирования, можно заметить, что Sample-Spark и LOGO близки по времени работы. Тем не менее, LOGO работает быстрее, чем Sample-Spark. Причина в том, что для одного и того же объема данных Sample-Spark имеет стоимость связи в конце каждой итерации, тогда как LOGO выполняет итерации локально и имеет стоимость связи только после завершения всех итераций. За исключением операции онлайн-выборки, Online-Sample-Spark и Sample-Spark одинаковы и имеют одинаковые результаты и точность. Spark изучает модели на всем наборе данных, в то время как Online-Sample-Spark и Sample-Spark имеют тот же процесс обучения, но используют образец набора данных. Следовательно, точность Spark выше, чем Online-Sample-Spark и Sample-Spark. Для алгоритмов дерева решений и случайного леса точность LOGO выше, чем у Spark. Это связано с тем, что процесс обучения в LOGO аналогичен ансамблевому обучению, которое было показано как эффективная стратегия для алгоритмов дерева решений и случайного леса [34, 35]. Таким образом, хотя LOGO изучает модели на выборке набора данных, он обеспечивает более высокую производительность, чем Spark. Тогда как для логистической регрессии и алгоритмов SVM точность LOGO близка к точности Spark.

Причина может заключаться в том, что точность Spark высока, т. е. превышает 90%, поэтому возможности для улучшения ограничены.

### *4.2 Производительность алгоритмов неконтролируемого обучения*

Мы используем 100-мерные наборы данных для оценки производительности двух алгоритмов обучения без учителя: Kmeans и Bisecting Kmeans. На рисунках 8 и 9 показано время работы, чистота и C-dist двух алгоритмов неконтролируемого обучения в LOGO и трех конфигурациях Spark при изменении размера набора данных от 50 ГБ до 10 ТБ.

Как и в случае с результатами оценки алгоритмов контролируемого обучения, время работы Spark быстро увеличивается, и для Spark становится непрактично работать с наборами данных размером более 1 ТБ. Операция онлайн-выборки является дорогостоящей, если размер набора данных превышает 2 ТБ. За исключением стоимости онлайн-выборки, время работы Sample-Spark и LOGO аналогично для алгоритма Kmeans, а LOGO быстрее, чем Sample-Spark, в отношении алгоритма деления Kmeans пополам.

*Рис. 6: Время контролируемого обучения.*

Причина в том, что при одинаковом объеме данных стоимость связи LOGO ниже, чем у Sample-Spark. Качество обнаруженных кластеров мы оцениваем по показателям Чистота (чем выше, тем лучше) и C-dist (чем ниже, тем лучше). Как показано на рисунке 9, при использовании одного и того же процесса кластеризации, поскольку Spark использует весь набор данных, а Sample-Spark и Online-Sample-Spark используют образец данных, Spark достигает более высокой производительности. Качество кластеров, найденных LOGO, аналогично качеству Spark.

### *4.3 Производительность алгоритмов интеллектуального анализа часто встречающихся наборов элементов*

На рис. 10(a) показано время работы алгоритмов интеллектуального анализа часто встречающихся наборов элементов в Spark и LOGO при изменении количества транзакций. Порог поддержки установлен на уровне 0,15. Для наборов данных, содержащих менее 2,75 миллионов транзакций, мы организуем 5000 транзакций в один блок данных. Для наборов данных с более чем 2,75 миллионами транзакций один блок данных содержит 1 миллион транзакций. Время работы Spark чрезвычайно велико при обработке 2,75 миллиона транзакций. Причина в том, что алгоритм FP-Growth в библиотеке Spark [36] строит распределенное FP-дерево по всем разделам и рекурсивно извлекает часто встречающиеся наборы элементов. Он генерирует большое количество промежуточных переменных, что требует большого объема памяти

и отнимает много времени. И Online-Sample-Spark, и Sample-Spark также используют алгоритм FP-Growth в библиотеке Spark.

*Рис. 7: Точность контролируемого обучения.*

*Рис. 8: Время выполнения обучения без учителя.*

По той же причине Spark не может ответить в разумные сроки, когда количество транзакций превышает 60 миллионов. Алгоритмы FIM_I и FIM_II на LOGO способны обрабатывать 1 миллиард транзакций. Время их работы сублинейно увеличивается по мере увеличения количества транзакций. Вычислительные затраты алгоритма FIM_I немного выше, чем у алгоритма FIM_II, поскольку FIM_I содержит еще один раунд связи. На рисунках 10(b) и 10(c) показана точность и отзыв алгоритмов FIM_I и FIM_II в LOGO, принимая за основу часто встречающиеся наборы элементов, найденные Spark. Точность и полнота FIM_I колеблются в районе 98%, когда количество транзакций варьируется от 105 до 107.

Точность FIM_II ниже 90%, когда количество транзакций варьируется от 105 до 107. Причина в том, что оба алгоритма используют частые наборы элементов в выборках для аппроксимации реальных результатов. Бывает, что некоторые нечастые наборы элементов оказываются в выборках частыми. Когда набор данных небольшой, эта случайность влияет на точность результатов.

*Рис. 9: Чистота и C-dist обучения без учителя.*

*Рис. 10: Частый анализ набора элементов.*

Однако если набор данных большой, этот эффект можно игнорировать. Как показано на рисунках, точность и полнота FIM_I и FIM_II близки к 100%, когда количество транзакций превышает 108. В целом FIM_I лучше, чем FIM_II, с точки зрения точности результатов. Потому что у FIM_I есть еще один раунд связи для обмена информацией между вычислительными узлами. Принимая во внимание, что FIM_II лучше, чем FIM_I, с точки зрения времени работы. Следовательно, для частого анализа наборов элементов LOGO превосходит Spark, Online-Sample-Spark и Sample-Spark с точки зрения времени работы и масштабируемости. Более того, приблизительные результаты, полученные алгоритмами FIM_I и FIM_II, близки к истине.

## *5. Выводы*

В этой статье мы предлагаем парадигму Non-MapReduce для распределенного анализа больших данных. В качестве входных данных он принимает фрагменты случайной выборки, а не весь набор данных. Принимая

этот подход, итерационные алгоритмы выполняют итерации разделов данных параллельно и независимо, что значительно снижает затраты на ввод-вывод и связь. Результатом является агрегирование результатов, полученных из разделов данных. Мы реализуем парадигму Non-MapReduce, расширяя Spark и представляя вычислительную среду LOGO. Он эффективен при вводе-выводе и обмене данными, способен выполнять итеративные аналитические алгоритмы с наборами данных терабайтного масштаба и имеет простую модель параллельного программирования. Мы также применяем структуру LOGO к часто используемым алгоритмам контролируемого обучения, неконтролируемого обучения и частым алгоритмам интеллектуального анализа наборов элементов. Результаты экспериментов демонстрируют эффективность и результативность LOGO.

***Литература*** ***References*** ***參考書目***


1. Vaia Moustaka, Athena Vakali, and Leonidas G. Anthopoulos. A systematic review for smart city data analytics. ACM Comput. Surv., 51(5):103:1–103:41, 2019.

2. Can Liu, Yuncong Gao, Li Sun, Jinghua Feng, Hao Yang, and Xiang Ao. User behavior pre-training for online fraud detection. In Aidong Zhang and Huzefa Rangwala, editors, KDD ’22: The 28th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, Washington, DC, USA, August 14 - 18, 2022, pages 3357–3365. ACM, 2022.

3. Noussair Fikri, Mohamed Rida, Noureddine Abghour, Khalid Moussaid, Amina El Omri. An adaptive and real-time based architecture for financial data integration. J. Big Data, 6:97, 2019.

4. Shaosheng Cao, Xinxing Yang, Cen Chen, Jun Zhou, Xiaolong Li, and Yuan Qi. Titant: Online real-time transaction fraud detection in ant financial. Proc. VLDB Endow., 12(12):2082–2093, 2019.

5. Pijush Kanti Dutta Pramanik, Saurabh Pal, and Moutan Mukhopadhyay. Healthcare big data: A comprehensive overview. Research anthology on big data analytics, architectures, and applications, pages 119–147, 2022.

6. Kee Yuan Ngiam and Wei Khor. Big data and machine learning algorithms for health-care delivery. The Lancet Oncology, 20(5):e262–e273, 2019.

7. Paul Suganthan G. C., Chong Sun, Krishna Gayatri K., Haojun Zhang, Frank Yang, Narasimhan Rampalli, Shishir Prasad, Esteban Arcaute, Ganesh Krishnan, Rohit Deep, Vijay Raghavendra, and AnHai Doan. Why big data industrial systems need rules and what we can do about it. In Timos K. Sellis, Susan B. Davidson, and Zachary G. Ives, editors, Proceedings of the 2015 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Melbourne, Victoria, Australia, May 31 - June 4, 2015, pages 265–276. ACM, 2015.

8. Mingming Zhang, Tianyu Wo, Xuelian Lin, Tao Xie, and Yaxiao Liu. Carstream: An industrial system of big data processing for internet-of-vehicles. Proc. VLDB Endow., 10(12):1766–1777, 2017.

9. Jianyi You, Auwal Sagir Muhammad, Xin He, Tianqi Xie, Zhiyuan Wang, Xiaoliang Fan, Zhiyong Yu, Longbiao Chen, and ChengWang. PANDA: predicting road risks after natural disasters leveraging heterogeneous urban data. CCF Trans. Pervasive Comput. Interact., 4(4):393–407, 2022.

10. Joost Verbraeken, Matthijs Wolting, Jonathan Katzy, Jeroen Kloppenburg, Tim Verbelen, and Jan S. Rellermeyer. A survey on distributed machine learning. ACM Comput. Surv.,

53(2):30:1–30:33, 2021.

11. Min Yoon, Hyeong-Il Kim, Dong Hoon Choi, Heeseung Jo, and Jae-Woo Chang. Performance analysis of mapreduce-based distributed systems for iterative data processing applications. In James J. Park, Hojjat Adeli, Namje Park, and Isaac Woungang, editors, Mobile, Ubiquitous, and Intelligent Computing - MUSIC 2013, FTRA 4th International Conference on Mobile, Ubiquitous, and Intelligent Computing, September 4-6, 2013, Gwangju, Korea, volume 274 of Lecture Notes in Electrical Engineering, pages 293–299. Springer, 2013.

12. Martнn Abadi, Ashish Agarwal, Paul Barham, Eugene Brevdo, Zhifeng Chen, Craig Citro, Gregory S. Corrado, Andy Davis, Jeffrey Dean, Matthieu Devin, Sanjay Ghemawat, Ian J. Goodfellow, Andrew Harp, Geoffrey Irving, Michael Isard, Yangqing Jia, Rafal Jyzefowicz, Lukasz Kaiser, Manjunath Kudlur, Josh Levenberg, Dan Manй, Rajat Monga, Sherry Moore, Derek Gordon Murray, Chris Olah, Mike Schuster, Jonathon Shlens, Benoit Steiner, Ilya Sutskever, Kunal Talwar, Paul A. Tucker, Vincent Vanhoucke, Vijay Vasudevan, Fernanda B. Viйgas, Oriol Vinyals, Pete Warden, Martin Wattenberg, Martin Wicke, Yuan Yu, and Xiaoqiang Zheng. Tensorflow: Large-scale machine learning on heterogeneous distributed systems. CoRR, abs/1603.04467, 2016.

13. Tianqi Chen, Mu Li, Yutian Li, Min Lin, Naiyan Wang, Minjie Wang, Tianjun Xiao, Bing Xu, Chiyuan Zhang, and Zheng Zhang. Mxnet: A flexible and efficient machine learning library for heterogeneous distributed systems. CoRR, abs/1512.01274, 2015.

14. Elias De Coninck, Steven Bohez, Sam Leroux, Tim Verbelen, Bert Vankeirsbilck, Pieter Simoens, and Bart Dhoedt. DIANNE: a modular framework for designing, training and deploying deep neural networks on heterogeneous distributed infrastructure. J. Syst. Softw., 141:52–65, 2018.

15. Adam Paszke, Sam Gross, Soumith Chintala, Gregory Chanan, Edward Yang, Zachary DeVito, Zeming Lin, Alban Desmaison, Luca Antiga, and Adam Lerer. Automatic differentiation in pytorch. 2017.

16. Raj Kumar and Rajesh Verma. Classification algorithms for data mining: A survey. International Journal of Innovations in Engineering and Technology (IJIET), 1(2):7–14, 2012.

17. Absalom E. Ezugwu, Abiodun M. Ikotun, Olaide Nathaniel Oyelade, Laith Mohammad Abualigah, Jeffrey O. Agushaka, Christopher I. Eke, and Andronicus Ayobami Akinyelu. A comprehensive survey of clustering algorithms: State-of-theart machine learning applications, taxonomy, challenges, and future research prospects. Eng. Appl. Artif. Intell., 110:104743, 2022.

18. Chin-Hoong Chee, Jafreezal Jaafar, Izzatdin Abdul Aziz, Mohd Hilmi Hasan, and William Yeoh. Algorithms for frequent itemset mining: a literature review. Artif. Intell. Rev., 52(4):2603–2621, 2019.

19. Salman Salloum, Joshua Zhexue Huang, and Yulin He. Random sample partition: A distributed data model for big data analysis. IEEE Trans. Ind. Informatics, 15(11):5846–5854, 2019.

20. Konstantin Shvachko, Hairong Kuang, Sanjay Radia, and Robert Chansler. The hadoop distributed file system. In Mohammed G. Khatib, Xubin He, and Michael Factor, editors, IEEE 26th Symposium on Mass Storage Systems and Technologies, MSST 2012, Lake Tahoe, Nevada, USA, May 3-7, 2010, pages 1–10. IEEE Computer Society, 2010.

21. Chenghao Wei, Salman Salloum, Tamer Z. Emara, Xiaoliang Zhang, Joshua Zhexue Huang, and Yu-Lin He. A two-stage data processing algorithm to generate random sample partitions for big data analysis. In CLOUD, volume 10967, pages 347–364, 2018.

22. Robi Polikar. Ensemble learning. In Ensemble machine learning, pages 1–34. Springer, 2012.

23. Zhice Fang, Yi Wang, Ling Peng, and Haoyuan Hong. A comparative study of heterogeneous ensemble-learning techniques for landslide susceptibility mapping. Int. J. Geogr. Inf. Sci., 35(2):321–347, 2021.

24. Antonio Galicia, Ricardo L. Talavera-Llames, Alicia Troncoso Lora, Irena Koprinska, and

DOI 10.18699/sblai2023-43
УДК 004.056.5

# *Решение глобальных проблем кибербезопасности, основанных на искусственном интеллекте, с помощью искусственного интеллекта*

# *Addressing AI-driven global cybersecurity challenges with artificial intelligence*

# *利用人工智能應對人工智能驅動的全球網絡安全挑戰*

**Чжан Сяосун**

Иностранный действительный член Российской инженерной академии, Москва, Россия
Университет электронных наук и технологий Китая, Чэнду, Китай
Foreign Academician, Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia
*University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, China*
俄羅斯工程院外籍院士，俄羅斯莫斯科
**中國電子科技大學 , 成都 , 中國**
*johnsonzxs@uestc.edu.cn*

***Аннотация.*** В работе анализируется текущее развитие ИИ в глобальной кибербезопасности и разъясняется критическая позиция ИИ в глобальных проблемах кибербезопасности. Он выдвигает идею реагирования на глобальные проблемы кибербезопасности, вызванные ИИ, с помощью ИИ. Искусственный интеллект при разработке новых сценариев угроз в кибератаках, таких как угрозы атак типа «отказ в обслуживании», угрозы атак социальной инженерии, угрозы вредоносного кода, автоматическая эксплуатация уязвимостей и другие области, имеют типичные случаи. Хакерская конференция 2018 IBM Research продемонстрировала точный выпуск вредоносного кода вредоносной программы DeepLocker. Традиционную оборону трудно предотвратить. Технология искусственного интеллекта станет важной силой в борьбе с атаками искусственного интеллекта в будущем. Проанализируйте преимущества AIGC, представленные LLM, вычислениями знаний на основе графов знаний, глубоким обучением и другими связанными технологиями, объясните текущий статус развития и будущие прорывные точки ИИ в приложениях для атак и защиты в области кибербезопасности, а также подведите итог, что технология ИИ является важной часть возможностей активной безопасности. Продемонстрируйте подлинность и эффективность защиты сетевой безопасности, достигнутой командой с использованием технологии искусственного интеллекта. С этой целью рекомендуется усилить исследования и приложения, чтобы способствовать созданию и разработке интеллектуальных сетевых систем атак и защиты, укреплять инфраструктуру данных для сетевых атак и защиты, а также поощрять практический эффект технологий сетевых атак и защиты искусственного интеллекта.

***Ключевые слова:*** искусственный интеллект, кибербезопасность, нейронные сети, машинное обюучение, механизмы защиты

***Annotation.*** The paper analyzes the current development of AI in global cybersecurity and clarifies the critical position of AI in global cybersecurity challenges. It puts forward the idea of responding to the worldwide cybersecurity challenges brought by AI with AI. Artificial intelligence in developing new threat scenarios in cyberattacks, such as denial of service attack threats, social engineering attack threats, malicious code threats, automated vulnerability exploitation, and other areas have typical cases. 2018 Hacker Conference IBM Research demonstrated a precise release of malicious code DeepLocker malware. Traditional defense is difficult to prevent. AI technology will be a significant force in dealing with AI attacks in the future. Analyze the advantages of AIGC represented by LLMs, knowledge computing based on knowledge graphs, and deep learning and other related technologies, explain the current development status and future breakthrough points of AI in cybersecurity attack and defense applications, and summarize that AI technology is an essential part of active security capability. Demonstrate the authenticity and effectiveness of network security defense achieved by the team using AI technology. To this end, it is recommended to strengthen research and application to promote the construction and development of intelligent network attack and defense systems, strengthen the data infrastructure in network attack and defense, and encourage the practical effect of artificial intelligence network attack and defense technologies.

***Keywords:*** artificial intelligence, cybersecurity, neural networks, machine learning, protection mechanisms

***註解。***報告分析了人工智能在全球網絡安全領域的發展現狀，明確了人工智能在全球網絡安全挑戰中的關鍵地位。 提出用AI應對人工智能帶來的全球網絡安全挑戰的理念。 人工智能在網絡攻擊中開發新的威脅場景，如拒絕服務攻擊威脅、社會工程攻擊威脅、惡意代碼威脅、自動化漏洞利用等領域都有典型案例。 2018黑客大會IBM研究院演示了精準釋放惡意代碼的DeepLocker惡意軟件。 傳統防禦很難防範。人工智能技術將成為未來應對人工智能攻擊的重要力量。 分析以LLM為代表的AIGC、基於知識圖譜的知識計算、深度學習等相關技術的優勢，闡釋人工智能在網絡安全攻防應用中的發展現狀及未來突破點，總結人工智能技術是網絡安全攻防應用的關鍵主動安全能力的一部分。展示團隊利用AI技術實現的網絡安全防禦的真實性和有效性。為此，建議加強研究應用，推動智能網絡攻防系統建設發展，強化網絡攻防數據基礎設施，鼓勵人工智能網絡攻防技術發揮實效。

***關鍵字：***人工智慧、網路安全、神經網路、機器學習、保護機制 註解。

## 1. Введение

Технология искусственного интеллекта зародилась в 1943 году, когда психолог Уоррен МакКаллок и математик Уолтер Питтс предложили первую модель нейрона [1]. В 1950 году учёный-компьютерщик Джон МакКарти предложил термин «искусственный интеллект» [2] и организовал первую конференцию по искусственному интеллекту. С 1950-х по 1970-е годы искусственный интеллект развился до такой степени, что экспертные системы начали использоваться в химическом анализе и диагностике инфекционных

заболеваний. После 1980-х годов, с появлением машинного обучения и нейронных сетей, искусственный интеллект превратился из пассивного в активный, а автономное обучение и распознавание закономерностей в данных стали реальностью. В настоящее время коммуникационные и сетевые технологии высоко развиты, а число людей, использующих Интернет и Интернет вещей, также продемонстрировало взрывной рост. Благодаря большим данным и глубокому обучению искусственный интеллект даже превзошел уровень распознавания изображений и естественного языка. Искусственный интеллект достиг человеческого уровня и может дать хорошие результаты во многих областях, таких как здравоохранение, финансы и сельское хозяйство. В будущем искусственный интеллект продолжит развиваться, и его использование также будет способствовать дальнейшему развитию человеческого общества.

В настоящее время практически все страны выработали политику поддержки развития приложений ИИ. Например, Управление научно-технической политики Белого дома [3] выпустило «Национальный стратегический план исследований и разработок в области искусственного интеллекта на 2019 год», Россия – «Текущее состояние и перспективы развития и применения искусственного интеллекта в военной сфере», а правительство Франции объявило, что в течение пяти лет инвестирует 1,5 млрд. евро в развитие стратегий ИИ. Что касается сотрудничества, то многие международные компании, такие как Microsoft, IBM и Cisco, также планируют усовершенствовать экосистему безопасности с помощью крупномасштабной технологии языкового моделирования (LLM).

Однако, в то время как искусственный интеллект быстро развивается, он также привнесет новые вызовы в различные сферы человеческого общества. С точки зрения сетевой безопасности, технология искусственного интеллекта может устранить недостатки традиционных систем безопасности, повысить их общие показатели безопасности и обеспечить лучшую защиту от все более сложных киберугроз [4].

Столкнувшись с неизбежной тенденцией участия искусственного интеллекта в сетевой безопасности, в этой статье описываются новые изменения, внесенные ИИ в цепочку сетевых атак [5], с точки зрения цепочки сетевых атак. Показаны новые преимущества новых типов сетевых атак в интеллектуальных атаках типа «DoS-атака», ликвидация вредоносного кода, автоматическое тестирование на проникновение и т.д., которое привлекло внимание людей к сетевым атакам, управляемым искусственным интеллектом. Также показано, что с точки зрения сетевой защиты искусственный интеллект также может показывать хорошие результаты, особенно при поиске сетевых уязвимостей, обнаружение уязвимостей способствует выполнению сетевые атаки, и это также способствует защите сети. Заблаговременное исправление

уязвимостей в большей степени способствует поддержанию сетевой безопасности. Наконец, в этой статье кратко излагаются проблемы развития технологий искусственного интеллекта и вызовы, которые ИИ ставит перед сетевой безопасностью, а также выдвигаются предложения по поддержанию сетевой безопасности. Цель статьи - показать, что проблемы глобальной сетевой безопасности необходимо решать совместно с ИИ.

## 2. Кибератаки, управляемые искусственным интеллектом

При проведении кибератаки, внедрение искусственного интеллекта в атаку имеет два преимущества. С одной стороны, технология искусственного интеллекта делает задачу кибератаки более автоматизированной и масштабируемой, а стоимость - ниже. С другой стороны, технология искусственного интеллекта может автоматически анализировать механизм защиты цели, находить слабые места, а затем генерировать новые атаки, основанные на этой слабости. Эти новые атаки могут обойти механизм безопасности и получить более высокий процент успеха атаки. Судя по модели цепочки сетевых атак, искусственный интеллект охватил весь жизненный цикл сетевых атак, как показано в таблице 1.

### *2.1. Интеллектуальная атака типа «DoS-атака»*

Разведка и отслеживание — это первый этап цепочки поражений сети. На этом этапе ядром операции в основном являются различные средства для получения как можно большей информации о подвергшемся нападению пользователе, чтобы найти недостатки и лазейки у подвергшегося нападению пользователя, обеспечить эффективность атаки.

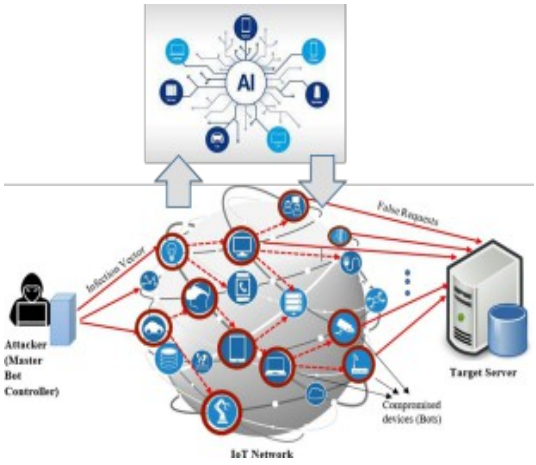



*Рис. 1. Автономные, интеллектуальные и крупномасштабные атаки типа «DoS-атака»*
*Fig. 1. Autonomous, Intelligent and Scaled Launching of DoS Attacks*
*自主、智慧、規模化發動DoS 攻擊*

DDoS-атаки, служащие прикрытием для атак, способствуют другим актам кражи информации и могут играть определенную роль в разведке и отслеживании.Что касается интеллектуальных атак типа «DoS-атака» (DoS) [6], то с увеличением масштаба и частоты ботнетов и распределенных атак типа «DoS-атака» (DDoS), интегрированный в DoS, искусственный интеллект станет основной формой DoS-атак в будущем.

Сегодня некоторые DDoS-атаки используют технологию искусственного интеллекта для подключения миллионов целевых устройств и создания роевой сети. Эти групповые сети с возможностями самообучения искусственного интеллекта могут применять свои собственные стратегии, основанные на информации об устройстве, без необходимости отправлять команды и другие конфиденциальные операции через терминал управления, по-настоящему реализуя децентрализованное автономное интеллектуальное сотрудничество и значительно повышая способность DDoS атаковать большее количество целей одновременно.

### *2.2. Применение искусственного интеллекта в социальной инженерии*

Социальная инженерия — это использование человеческих уязвимых мест для получения ценной информации. Участие социальной инженерии необходимо для разведки и отслеживания. В связи с этим ключевую роль сыграло развитие технологий искусственного интеллекта, таких как перевод языка с помощью искусственного интеллекта, цифровая обработка с помощью искусственного интеллекта и генерация текста с помощью искусственного интеллекта. В частности, технология DeepFake [7] позволяет подделывать видео, аудио и картинки, а ChatGPT[8] может создавать интеллектуальных чат-ботов. Все эти приложения для искусственного интеллекта показывают, что при внедрении технологии искусственного интеллекта атаки социальной инженерии сократят затраты и значительно повысят вероятность успеха. В исследовании Darktrac, озаглавленном «Влияние создания искусственного интеллекта на кибератаки по электронной почте», количество новых атак социальной инженерии, основанных на искусственном интеллекте, увеличилось на 135% с момента выхода ChatGPT. В частности, за последние три месяца количество мошеннических электронных писем увеличилось на 70%, что заставило 82% людей беспокоиться о том, что хакеры теперь используют технологию искусственного интеллекта для автоматической и быстрой генерации неотличимых мошеннических электронных писем.

Юаньшунь Яо и другие [9] использовали технологию рекуррентной нейронной сети для генерации поддельных комментариев. Эти комментарии могут не только ускользать от обнаружения человеком, но и, как показали исследования, их распознавание людьми очень высоко.




*Рис. 2. Поддельный файл, сгенерированный искусственным интеллектом*
*Figure 2. Fake file generated by artificial intelligence*
*圖2.人工智慧產生的假文件*

Дж. Сеймур и др. [10] используя технологию круговой нейронной сети SNAP_R, научили создавать фишинговые посты для конкретных пользователей, а количество переходов по ссылкам, отслеживающим IP-адреса, доказывает, что размещенная поддельная информация обманула глаза людей. Эти технологии могут быть использованы в мошеннических электронных письмах для достижения эффекта подделок. Если они не будут осторожны, произойдет утечка информации.

**Таблица 1** Модель сетевой цепочки атак

| **Модель цепочки сетевых атак (жизненный цикл сетевой атаки)** | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| № | Прикладные исследования | Разведка и слежение | Создание оружия | Доставка | Уязвимости | Установка и внедрение | Управление и контроль |
| 1 | Освобождение от вредоносного кода | | √ | | | √ | |
| 2 | Умный подбор пароля | | | | √ | | |
| 3 | Новое решение кода проверки текста | | | | √ | | |
| 4 | Интеллектуальная атака типа «DoS-атака» | √ | √ | √ | | | |
| 5 | Применение ИИ в социальной инженерии | √ | | √ | | | |
| 6 | Методы создания и использования новых вредоносных программ | | √ | √ | √ | | |
| 7 | Автоматический инструмент для тестирования на проникновение | √ | | | √ | | √ |
| 8 | Генерация DGA на основе глубокого обучения | | | | | | √ |

### *2.3. Освобождение от вредоносного кода*

Отсутствие вредоносного кода [11] является основным требованием для создания сетевого оружия для цепного поражения. Хорошее оружие атаки

должно быть трудно уничтожить. Отсутствие вредоносного кода - хороший способ защиты. В связи с этим несколько исследовательских групп предложили несколько алгоритмов, основанных на глубоком обучении с подкреплением, API [12] вставку последовательности и градиентный спуск с детализацией по байтам. Вероятность успеха этих алгоритмов в достижении статического отсутствия ошибок в моделируемых данных достигает 90%.

Гроссе К. и др. [13] использовали алгоритм прямой производной, основанный на атаке нейронных сетей, для обхода обнаружения DNN на наборе данных DREBIN Android в предположении, что атакующему известны структура и параметры нейросетевой модели, с 85%-ной вероятностью успеха. Hu W. [14] использовал альтернативные детекторы для настройки системы обнаружения «черного ящика» на наборе данных malwr в предположении, что злоумышленник знает о функциональности, используемой алгоритмом обнаружения вредоносного кода, так что детектор «черного ящика» не успевал за частотой настройки вредоносного кода и, по сути, достиг 100%-ной устойчивости, и в то же время использовал вставку нерелевантных последовательностей API для обхода RNN, основанного на последовательных признаках API, для обнаружения вредоносного кода [15]. При этом, показатели безтестовости варьировались от 96,97 до 99,56%. Колоснаджи Б и др. [16] провели тестирование на таких наборах данных, как VirusShare, и обнаружили, что алгоритм градиентного спуска, использующий гранулярность байтов, позволил получить показатель отсутствия вредоносных программ 92,83%. Андерсон Х.С. и др. [17] использовали атаку «черного ящика» на основе обучения с подкреплением против модели машинного обучения Windows PE с успешностью 99,3% в тесте kill free на основе данных Virus Share, VirusTotal. Применение искусственного интеллекта повышает эффективность средств кибернетической атаки и делает их очень удобными для использования.

### *2.4. Новые методы создания и использования вредоносных программ*

Разумеется, эффективность защиты от кибератак не может быть полностью гарантирована только уничтожением вредоносного кода, поэтому злоумышленники начали использовать методы искусственного интеллекта для создания вредоносных программ с новыми схемами атак. В 2018 году исследователи IBM представили DeepLocker [18], который положил начало развитию вредоносного ПО на основе ИИ. В 2023 году хакеры начали использовать ChatGPT для написания вредоносных программ. Например, исследователи кибербезопасности компании CyberArk совместно с ChatGPT создали полиморфное вредоносное ПО [19], автоматизирующее эффект мутации кода. Таким образом, механизм запуска вредоносного поведения, отравляемого ИИ, представляет собой большую проблему для исследователей безопасности, поскольку традиционные методы анализа вредоносного ПО затруднены для эффективного анализа вредоносного поведения, генерируемого

ИИ, и являются устаревшими.

В работе Д. Кират и др. [20] использовалась техника DeepLocker, позволяющая скрыть атакующее поведение программного обеспечения, что позволяет избежать обнаружения и повысить эффективность работы вредоносной программы. Бахсен и др. [21] использовали модель DeepPhish для обучения искусственного интеллекта проведению атак и экспериментально доказали, что глубокий фишинг, управляемый искусственным интеллектом, превосходит традиционный фишинг. Вэйвэй Ху [14] и др. сгенерировали вредоносное ПО на основе алгоритма состязательной сети (GAN) для эффективного обхода детектора «черного ящика».

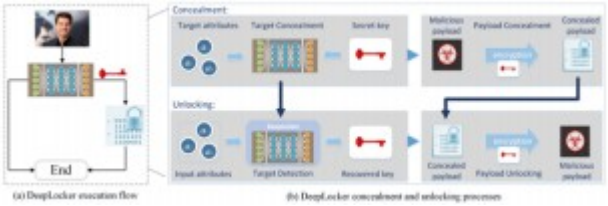



*Рис. 3. ДипЛоккер, Fig.3. DeepLocker, 圖 3。深度鎖*

Кейван Чунг [22] использовал метод кластеризации Kmean для создания самообучающихся вредоносных программ, способных маскироваться под непреднамеренные сбои в работе компьютерной инфраструктуры и нарушать работу системы управления компьютерной средой. Новые типы вредоносных программ, несомненно, делают оружие кибератак более мощным, и это мощное оружие внедряется в целевую систему или сеть посредством интеллектуальных сервисных атак, маскируясь под электронные письма и т.д., чтобы подготовиться к последующим поражениям.

### *2.5. Инструменты автоматического тестирования на проникновение*

Тестирование на проникновение, как средство поиска уязвимостей, может помочь представителям безопасности устранить недостатки системы, а киберзлоумышленникам - начать атаки. Автоматизированные средства проникновения стали официально выпускаться с момента проведения конкурса CGC, организованного компанией Darpa в 2016 году. Новейшие интеллектуальные архитектуры проникновения DeepExploit, Mayhem и другие [23] позволяют проводить эффективные, качественные и недорогие атаки.

Мохамед С. Ганем и др. [24] представили интеллектуальную автоматизированную систему тестирования на проникновение (IAPTS), которая использует подход к моделированию среды и задач ПТ как частично наблюдаемого марковского процесса принятия решений, где реализуемые стратегии решаются с помощью POMDP, а обучение с подкреплением улучшает

ПТ с точки зрения затраченного времени, охваченных векторов атак, точности и аккуратности, что позволяет ей работать лучше любого человеческого эксперта по ПТ. Ц. Ли и другие [25] предложили автоматизированный подход к тестированию на проникновение, основанный на архитектуре DeepExploit с агентом обучения с подкреплением, обученным по модели A3C [26] для получения опыта в выборе точных полезных нагрузок для использования имеющихся уязвимостей с целью быстрого выявления уязвимостей сервера. Искусственный интеллект оказался более эффективным, чем человек, в решении задач поиска уязвимостей и других аспектов.

### *2.6. Интеллектуальное подбирание паролей*

Что касается интеллектуального взлома паролей, то компания Home Security Heroes провела исследование, в ходе которого выяснилось, что 51% из 15,6 млн. паролей можно взломать менее чем за минуту с помощью различных методов искусственного интеллекта.

Если время взлома увеличить до одного часа, то можно взломать 65% паролей. Кроме того, при дальнейшем увеличении времени взлома выяснилось, что 71% паролей может быть взломан за день, а 81% - за месяц. Конкретные сценарии взлома паролей приведены в табл. 2. Кроме того, компания разработала тестовое программное обеспечение, при вводе тестового пароля он выдаст ИИ ожидаемое время взлома, конечно, скорость работы интеллектуального пароля не может быть улучшена без длительных исследований многих научных коллективов.

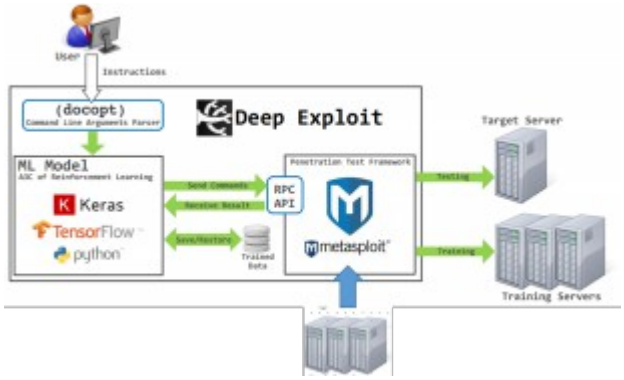



*Рис. 4. DeepExploit*
*Fig. 4. DeepExploit*
*圖 4. 深度漏洞利用*

Фанъи Юй и др. [27] представили GNPassGAN, когда выход Pass-GAN комбинируется с выходом HashCat, он способен подобрать на 51%-73% больше паролей, чем при использовании только HashCat. Чжиян Ся и др. [28] решили

отказаться от неэффективности HashCat и предложили GENPass. Используя генератор паролей PCFG+LSTM, сочетающий нейронную сеть и PCFG, они экспериментально доказали, что эта комбинация повышает скорость расшифровки на 16%-30% по сравнению с паролями, использующими только PCFG [29]. Дарио Паскини и другие [30] использовали глубокое обучение для улучшения обучения представлениям догадок при расшифровке паролей, что позволило ИИ получать результаты с высокой степенью дешифровки за счет быстрого обучения. Позднее Фанъи Юй и др [31] усовершенствовали генеративные адверсарные сети, которые можно использовать для автономного угадывания паролей по тралу. По сравнению с современной моделью PassGAN, GN-PassGAN смогла угадать на 88,03% больше паролей и сгенерировать на 31,69% меньше дубликатов. По сей день интеллектуальный взлом паролей продолжает развиваться вместе с развитием технологий искусственного интеллекта, и постоянно появляются новые коммерческие продукты. Интеллектуальный взлом паролей позволяет кибернетическому оружию выполнять команды в сетевой системе цели, что является важным инструментом для кражи информации и выполнения команд.

### *2.7. Устройство для решения текстовой капчи (CAPTCHA)*

Чтобы предотвратить автоматическое выполнение высокочастотных обращений ИИ, практически все системы и сайты устанавливают CAPTCHA для верификации «человек-компьютер». В таких сценариях традиционные методы OCR [32] позволяют без помех распознавать обычные текстовые CAPTCHA, но с развитием технологий неправильно отформатированные текстовые CAPTCHA создают новые проблемы. Поэтому исследователи также разработали новый метод автоматического распознавания с использованием методов искусственного интеллекта, чтобы добиться автоматического распознавания CAPTCHA с более высокой точностью. В заключение следует отметить, что методы искусственного интеллекта могут обеспечить решения для автоматического проникновения с более высокой эффективностью и низкой стоимостью.

Дунлян Сюй и др. [33] усовершенствовали метод обучения ИИ таким образом, что он автономно выбирает информационно насыщенные образцы для обучения без ручного контроля, чтобы получить обучающие метки в реальном времени, а затем выбирает успешно распознанные образцы для обучения нейронной сети, что позволяет достичь высокой точности функции распознавания CAPTCHA и повысить скорость расшифровки CAPTCHA в случае небольшого набора данных. Тянь Цянь [34] и др. предложили новую систему распознавания CAPTCHA на основе конволюционной нейронной сети, используя фреймворк глубокого обучения Tensorflow для применения конволюционной нейронной сети в области распознавания CAPTCHA,

благодаря чему коэффициент распознавания CAPTCHA достигает 92%. Юй Н. и др. [35] использовали для взлома CAPTCHA технику TOD+CNN, которая значительно лучше, чем TOD+Peak+CNN, с точностью взлома более 90%, точностью на уровне символов и скоростью верификации более 75%. С привлечением искусственного интеллекта решение CAPTCHA сводится не просто к перебору чисел, а к автоматическому распознаванию текстовых файлов, что облегчает автоматическое развертывание инструментов атаки.

**Таблица 2** График взлома паролей

| **Кол-во символов** | **Только цифры** | **Буквы только нижнего регистра** | **Нижний и верхний регистры + прописные буквы** | **Цифры + буквы верхнего и нижнего регистра** | **Цифры + буквы верхнего и нижнего регистра + символы** |
|---|---|---|---|---|---|
| 4 | Мгновенно | Мгновенно | Мгновенно | Мгновенно | Мгновенно |
| 5 | Мгновенно | Мгновенно | Мгновенно | Мгновенно | Мгновенно |
| 6 | Мгновенно | Мгновенно | Мгновенно | Мгновенно | 4 секунды |
| 7 | Мгновенно | Мгновенно | 22 секунды | 42 секунды | 6 минут |
| 8 | Мгновенно | 3 секунды | 19 минут | 48 минут | 7 часов |
| 9 | Мгновенно | 1 минута | 11 часов | 2 дня | 2 недели |
| 10 | Мгновенно | 1 час | 4 недели | 6 месяцев | 5 лет |
| 11 | Мгновенно | 23 часа | 4 лет | 38 лет | 356 лет |
| 12 | 25 секунд | 3 недели | 289 лет | 2K лет | 30K лет |
| 13 | 3 минуты | 11 месяцев | 16K лет | 91K лет | 2M лет |
| 14 | 36 минут | 49 лет | 827K лет | 9M лет | 187M лет |
| 15 | 5 часов | 890 лет | 47M лет | 613M лет | 14Bn лет |
| 16 | 2 дня | 23K лет | 2Bn лет | 26Bn лет | 1Tn лет |
| 17 | 3 недели | 812K лет | 539.72M лет | 2Tn лет | 95Tn лет |
| 18 | 10 месяцев | 22M лет | 7.23Bn лет | 96Tn лет | 6Qn лет |

### *2.8. Генерация DGA на основе глубокого обучения*

Алгоритм DGA [36] - технология, используемая вредоносными программами, которая позволяет им динамически генерировать серию доменных имен для установления связи с командно-контрольным сервером (C&C-сервером). Использование DGA позволяет обойти меры сетевой безопасности и сделать обмен данными между вредоносными программами более скрытным и трудноотслеживаемым.

В настоящее время некоторые исследователи разработали алгоритм генерации DeepDGA на основе глубокого обучения, используя в качестве обучающих данных известные доменные имена на сайте Alexa. В алгоритме также используются LSTM [37] и GAN для построения общей архитектуры.

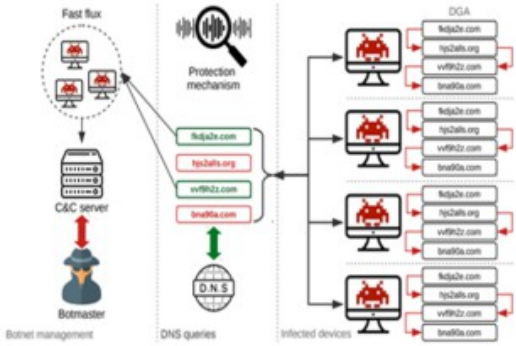



*Рис. 5. Генерация доменного имени DGA с помощью GAN*
*Fig. 5. DGA domain name generation using GAN*
*圖 5. 使用 GAN 產生 DGA 域名*

В результате доменные имена, генерируемые алгоритмом, очень похожи на имена обычных сайтов, которые трудно обнаружить традиционными методами обнаружения, что позволяет киберпреступникам контролировать зараженную целевую систему, отправлять команды и получать данные из удаленного места и в конечном итоге достигать цели кибератаки.

Х.С. Андерсон и др. [38] построили DGA на основе глубокого обучения, который способен обходить детекторы на основе глубокого обучения и генерировать доменные имена, которые трудно обнаружить. Й. Чэн и др. [39] разработали более угрожающий DGA ShadowDGA, использующий генеративные адверсарные сети (GAN) для имитации распределения доброкачественных доменов, и результаты показали, что домены, генерируемые ShadowDGA, труднее всего обнаружить по сравнению с существующими DGA. Технология генерации DGA на основе глубокого обучения обеспечивает скрытость и стойкость цепочки поражения сети, что является важной составляющей цепочки поражения.

### 3. Киберзащита с использованием искусственного интеллекта

Выше описана роль ИИ в цепочке кибератак. Хотя искусственный интеллект создал огромные проблемы для защиты сетевой безопасности, искусственный интеллект никогда не использовался для атак. Напротив, сетевая защита, управляемая искусственным интеллектом [40], может компенсировать недостатки искусственной защиты благодаря своей мощной возможности обучения и анализа данных, значительно сокращающие интервал между обнаружением угроз и реагированием на них, а также реализующие автоматическую и быструю идентификацию, обнаружение и устранение угроз безопасности. Эти функции играют важную роль в борьбе с различными угрозами безопасности, особенно в обнаружении неизвестных и современных

угроз (например, APT), которые обладают высокой эффективностью.

### *3.1. Интеллектуальный поиск и устранение уязвимостей*

Уязвимости всегда были важной частью сетевой безопасности. Интеллектуальные методы поиска и устранения уязвимостей более эффективны, чем традиционные методы поиска уязвимостей, и могут также помочь нам проактивно обнаруживать потенциальные атаки и защищаться от них. При этом интеллектуальный поиск уязвимостей [41] может сократить время обнаружения уязвимостей и время их устранения, снижая вероятность потери активов. Кроме того, методы устранения уязвимостей с использованием искусственного интеллекта позволяют сэкономить больше времени на устранение уязвимостей по сравнению с традиционными методами.

Цзэнань Чу и др. [42] предложили алгоритм поиска и противодействия уязвимостям ботнета и его систему, объединив машинное обучение и классификационный поиск, разработали модель ботнета на основе машинного обучения и метод ее построения, основанный на характеристиках групповой сетевой атаки ботнета, управления компьютерным роем, распределенной атаки типа «DoS-атака» и т.д., а также на анализе формы уязвимости ботнета и способа распространения уязвимости. Предложен алгоритм поиска и противостояния уязвимостям ботнета, и на основе имитационных экспериментов доказано, что средняя скорость обнаружения уязвимостей алгоритмом составляет более 87%, а скорость устранения уязвимостей - более 86%. Клэр Ле Гуэс и др. [43] использовали метод GenProg, основанный на эволюционном алгоритме и вдохновленный биологической эволюцией, для устранения 55 из 105 различных уязвимостей. Обнаружение уязвимостей является ключевым моментом как для злоумышленников, так и для защитников, а ИИ позволяет устранять уязвимости, что является мощным инструментом киберзащиты.

### *3.2. Интеллектуальное обнаружение сетей и логов*

Важной инициативой по защите цепи поражения сети является усиление защиты границ, в то время как системы обнаружения и защиты от вторжений должны ежедневно справляться с большим объемом сетевого трафика и журнальных данных при защите и обнаружении сетевой безопасности. При работе с такими массивами данных традиционные методы обнаружения сталкиваются с узкими местами, что приводит к низкой эффективности обработки данных системой обнаружения и неудовлетворительным результатам обнаружения. Напротив, интеллектуальные методы обнаружения, основанные на алгоритмах, позволяют в значительной степени уловить внутренние взаимосвязи и особенности этих массивных данных трафика и журналов. Например, методы обнаружения могут быть объединены со стратегиями на основе искусственного интеллекта, такими как мультисенсорные машины и

метаобучение, для достижения обнаружения различных или сложных сценариев атак.

А.Дж. Родригез [44] разработал интеллектуальную систему обнаружения вторжений на основе журналов, которая была обучена с помощью алгоритмов обучения без контроля, в частности алгоритма Kmeans [45] и алгоритма One Class SVM [46], и показала точность обнаружения аномальных шаблонов в тестовых журналах до 85%. Благодаря ИИ, помогающему вручную обрабатывать журналы, аномальная информация может быть обнаружена в кратчайшие сроки, что позволит проводить обработку аномалий и подавать сигналы тревоги, а также подготовиться к последующей защите от атак.

### *3.3. Принятие решений по обеспечению сетевой безопасности на основе ChatGPT*

ChatGPT — это технология, которая может использоваться не только хакерами, но и сотрудниками сферы безопасности. В ChatGPT формально интегрировано несколько типовых сценариев [47]: обнаружение фишинговых писем, определение нагрузки проникновения, формирование документов безопасности, формирование отчетов о реагировании на инциденты, обработка данных об угрозах и т.д. ChatGPT продемонстрировал отличные результаты по снижению стоимости, сложности и оперативности выполнения операций по обеспечению безопасности для защитников.

### *3.4. Интеллектуальная платформа для тестирования активной безопасности, основанная на интеллектуальных*

Другим показательным приложением в области кибербезопасности на основе ИИ является платформа активного тестирования безопасности на основе ИИ. Платформа основана на CDSL-Yak, больших языковых моделях и графах знаний. Она также объединяет несколько типов накопления основных данных, таких как активы, уязвимости и бизнес-информация. Обладая эффективными и экономически выгодными возможностями скрининга рисков безопасности, платформа предназначена для проведения активного тестирования безопасности с целью обнаружения потенциальных рисков безопасности, скрытых в целевой среде организации.

## 4. Заключение

### *4.1. Проблемы развития технологий ИИ*

В настоящее время развитие технологий искусственного интеллекта по-прежнему сталкивается с рядом проблем: первая из них - точность предсказаний. В последнее время технологии искусственного интеллекта не могут достичь 100-процентной точности обнаружения, а в некоторых случаях имеют место ложные срабатывания. Вторая проблема - целостность данных.

Данные имеют решающее значение для использования ИИ, однако в некоторых конкретных сценариях сбор данных затруднен. Кроме того, отсутствие наборов данных, символизирующих ключевые признаки, также является проблемой для соответствующих исследований. Третья проблема - интерпретируемость. Модели ИИ, особенно основанные на глубоком обучении и использующие высокоразмерные данные, в настоящее время не могут решить такие проблемы, как интерпретируемость и неоднозначность данных. Четвертое - вычислительные ресурсы. С ростом числа моделей и технологий, связанных с LLM, потребность в вычислительных мощностях становится все выше и выше, превращаясь в реальное требование для передовых исследований в области ИИ. Для некоторых регионов с ограниченными финансовыми возможностями это еще более актуально. Пятое - мировое общественное мнение.

### *4.2. Проблемы в области сетевой безопасности*

Одним словом, кибератаки на основе ИИ полностью трансформируют то, что раньше было трудоемкими и дорогостоящими атаками, в распределенное, интеллектуальное и автоматизированное по сравнению с традиционными кибератаками направление. В результате атаки становятся все более точными и автоматизированными. Упомянутые выше кибератаки, управляемые ИИ, являются одними из новых вызовов на пути кибератак, которые можно свести к следующим трем категориям проблем.

Во-первых, использование ИИ для изучения характеристик среды и повышения адаптивности и скрытности атаки. В сетевой среде объекта атаки данные, поведение и т.д. имеют определенные локализованные характеристики. Злоумышленники используют ИИ для сбора и моделирования характеристик данных, поведения и т.д. в целевой сети, изучения нормального содержания данных, частоты передачи, способа доставки и других характеристик среды в целевой сетевой среде. Они используют характеристики среды для выбора соответствующих средств атаки, маскируют данные атаки под обычные данные с нормальными характеристиками в целевой сети и маскируют поведение атаки под поведение обычных пользователей в целевой сети. Они реализуют адаптивное к среде поведение атаки, скрытие данных, повышают скрытность атаки и адаптивность атаки.

Во-вторых, использование искусственного интеллекта для усиления эффекта распределенного взаимодействия и повышения стойкости атаки. Атакующий внедряет алгоритмы распределенного интеллектуального взаимодействия, чтобы преобразовать традиционное единое планирование распределенных объектов атаки интеллектуальным центром для проведения совместных атак в автономное взаимодействие и групповое принятие решений распределенными многоинтеллектуальными объектами атаки без центра, что позволяет повысить эффективность взаимодействия между несколькими

распределенными узлами атаки, уменьшить зависимость от централизованного совместного планирования, снизить риск противодействия атакам и повысить их устойчивость.

В-третьих, использование искусственного интеллекта для достижения самоэволюции метода атаки и повышения ее эффективности. Атакующая сторона с помощью искусственного интеллекта анализирует эффект от различных методов атаки и возможные контрмеры защитника, а затем автоматически выбирает новый механизм атаки с учетом слабых мест защитника, реализуя тем самым интеллектуальную эволюцию метода атаки. Например, злоумышленник может принимать результаты работы системы обнаружения вторжений защитника за обратную связь, использовать технологию искусственного интеллекта для сбора и моделирования данных обратной связи, создания модели эффекта атаки и динамической настройки соответствующего метода атаки для обхода системы обнаружения вторжений.

### *4.3 Рекомендации по противодействию угрозе атак с использованием ИИ*

Мы также можем использовать ИИ для решения глобальных проблем кибербезопасности, возникающих благодаря ИИ. Ниже приводятся некоторые рекомендации:

1. Усилить исследования и прикладные разработки. Как страны, так и университеты могут внести свой вклад в создание и совершенствование интеллектуальных киберсистем, включая атаку и оборону.

2. Расширять совместный доступ. Поощрять исследователей к решению проблемы данных искусственного интеллекта при построении технологических систем кибернетической атаки и обороны.

3. Совершенствовать меры противодействия и оценки. Мы работаем вместе, чтобы продвигать разработку технологий кибернетической атаки и защиты на основе искусственного интеллекта в практических приложениях, приносящих существенную пользу государствам, коллаборациям и отдельным людям.

## 1. Introduction

Artificial intelligence technology originated in 1943, when psychologist Warren McCulloch and mathematician Walter Pitts proposed the first neuron model [1]. In 1950, computer scientist John McCarthy proposed the term "artificial intelligence" [2] and organized the first artificial intelligence conference. From the 1950s to the 1970s, artificial intelligence developed to the point where expert systems were used in chemical analysis and diagnosis of infectious diseases. After the 1980s, with the emergence of machine learning and neural networks, artificial intelligence changed from passive to active, and autonomous learning and recognition of patterns in data

became a reality. Nowadays, communication technology and network technology are highly developed, and the number of people using the Internet and the Internet of Things has also shown explosive growth. With big data and deep learning, artificial intelligence has even surpassed the level of image recognition and natural language processing. Artificial intelligence has reached human level, and artificial intelligence can produce good results in many fields such as medical care, finance, and agriculture. In the future, artificial intelligence will continue to develop, and its use will also promote the continued development of human society.

At present, almost all countries have issued policies to support the development of artificial intelligence applications. For example, the White House Office of Science and Technology Policy[3] released the "2019 National Artificial Intelligence R&D Strategic Plan"; Russia released the "Development Status and Application Prospects of Artificial Intelligence in the Military Field"; the French government announced that they will invest 1.5 billion euro within 5 years to promote the development of artificial intelligence strategies. As for cooperation, many international companies, such as Microsoft, IBM and Cisco, also plan to enhance the security ecosystem through large language model technology (LLM). However, while artificial intelligence is developing rapidly, it will also bring new challenges to various fields of human society. In terms of network security, artificial intelligence technology can improve the shortcomings of traditional security systems, improve their overall security performance, and target Increasingly sophisticated cyber threats provide better protection [4]. At the same time, the use of artificial intelligence also brings risks and hidden dangers to network security.

Faced with the inevitable trend of artificial intelligence participating in network security, this article starts from the perspective of the network kill chain, describes the new changes in AI in the network kill chain [5], and demonstrates the role of new network attacks in intelligent denial of service attacks. , malicious code avoidance, automatic penetration testing, etc., have attracted people's attention to AI-driven network attacks, and then demonstrated that artificial intelligence can also show good results in network defense, especially Mining and discovering network vulnerabilities is conducive to the execution of network attacks, and is also conducive to network defense. Patch vulnerabilities in advance is more conducive to maintaining network security. Finally, this article summarizes the challenges of AI technology development and AI's challenges to network security, and puts forward suggestions for maintaining network security, aiming to show that global network security challenges need to be addressed together with AI.

## 2. AI-driven cyberattacks

When conducting network attacks, introducing artificial intelligence into the attack has two advantages. On the one hand, artificial intelligence technology makes network attack tasks more automated and scalable, with lower costs; on the other hand, artificial intelligence technology can automatically analyze attacks. The target's

security defense mechanism looks for weaknesses, and then generates new attacks based on this weakness. This new attack can bypass the security mechanism and achieve a higher attack success rate. From the perspective of the network kill chain model, artificial intelligence has covered the entire life cycle of network attacks, as shown in Table 1.

### *2.1. Intelligent Denial-of-Service (DoS) Attacks*

**Figure 1** Autonomous, Intelligent and Scaled Launching of DoS Attacks

Reconnaissance tracking is the first stage of the network kill chain, in this stage, the core of the action is mainly a variety of means to obtain as much information as possible about the attacked, so as to find the deficiencies and loopholes of the attacked to ensure the effectiveness of the attack.DDos attack as a front of the attack to assist the other stealing of information can play the role of reconnaissance tracking. In terms of intelligent denial-of-service (DoS) [6] attacks, DoS-integrated AI will become the mainstream form of DoS attacks in the future as botnets and distributed denial-of-service (DDoS) attacks become larger and more frequent. Today, some DDoS attacks have adopted AI techniques to connect millions of targeted devices to build swarm networks. These group networks with AI self-learning capabilities can take their own strategies based on device information, without the need to send commands and other sensitive operations through the control terminal, truly realizing decentralized autonomous intelligent collaboration, significantly enhancing the ability of DDoS to attack more targets at the same time.

### *2.2. AI in social engineering attack applications*

Social engineering is the use of human weaknesses to obtain valuable information. Reconnaissance and tracking require the participation of social engineering. In this regard, the development of artificial intelligence technology has played a key role, such as artificial intelligence language translation, artificial intelligence number processing, and artificial intelligence text. generate. Specifically, DeepFake technology [7] can fake videos, audios and pictures, and ChatGPT [8] can realize intelligent chat robots. All of these AI applications demonstrate that social engineering attacks will be less costly and significantly more successful if AI technology is employed. In a Darktrac survey titled "The Impact of Generated AI on Email Cyberattacks," the number of new AI-based social engineering attacks increased by 135% since the release of ChatGPT. Specifically, the number of fraudulent emails has increased by 70% in the past three months, leading 82% of people to worry that hackers are now using artificial intelligence technology to automatically and quickly generate indistinguishable fraudulent emails.

**Figure 2** Fake documents generated by AI

Yuanshun Yao et al. [9] used recurrent neural network technology to generate

fake comments. These comments can not only escape human detection, but also survey found that people recognize them very highly. J Seymour et al. [10] used SNAP_R recurrent neural network technology to learn to publish phishing posts for specific users. The click-through rate of IP tracking links proved that the false information released deceived people's eyes. These techniques can be used in fraudulent emails to make them look real. If you are not careful, information will be leaked.

**Table 1** Cyberkill Chain Model

### *1.1. Malicious code exemptions*

Malicious code exemptions [11] is a basic requirement for building network kill chain weapons. A good attack weapon should be difficult to destroy. Avoidance is a good protection method. In this regard, multiple research teams have proposed Some algorithms based on deep reinforcement learning, API [12] sequence insertion and byte-granular gradient descent were developed. The success rate of these algorithms in achieving static anti-killing in simulated data is as high as 90%.

Grosse K et al. [13] used the forward derivative algorithm based on the attack neural network to bypass DNN detection on the DREBIN Android data set under the assumption that the attacker knows the structure and parameters of the neural network model, and the success rate reached 85%. Hu W[14] used an alternative detector to fit the black-box detection system on the malwr data set under the assumption that the attacker knows the functions used by the malicious code detection algorithm, so that the black-box detector cannot keep up with malware adjustments. frequency, basically reaching 100% anti-virus protection. At the same time, they used irrelevant API sequence insertion to avoid RNN detection of malware based on sequential API features [15], and the test anti-virus protection rate reached 96.97%~99.56%. Kolosnjaji B et al. [16] tested on VirusShare and other data sets and found that using byte-granularity gradient descent algorithm can make the malware avoidance rate reach 92.83%. Anderson H S et al. [17] used a black box attack based on reinforcement learning for the Windows PE machine learning model, and conducted anti-virus tests under Virus Share and VirusTotal data, and the success rate reached 99.3%. The participation of artificial intelligence improves the ability of cyber-attack weapons to avoid killing, making them highly usable.

### *1.2. New malware construction methods and utilization*

Of course, relying solely on malicious code to avoid killing cannot fully guarantee the effectiveness of network attack weapons, so attackers began to use artificial intelligence technology to build malware with new attack modes. In 2018, IBM researchers proposed DeepLocker [18], which opened the development of artificial intelligence-based malware. In 2023, hackers began to use ChatGPT to participate in writing malware. For example, cyber security researchers at CyberArk

built a polymorphic malware [19] combined with ChatGPT that can automatically achieve the effect of code mutation. Therefore, the triggering mechanism of artificial intelligence poisoning malicious behaviors brings huge challenges to security researchers, because traditional malware analysis methods are difficult to effectively analyze malicious behaviors generated by artificial intelligence and are outdated.

D Kirat et al. [20] use DeepLocker technology to hide the attack behavior of software, thereby evading detection and allowing malware to run better. Bahnsen et al. [21] used the DeepPhish model to train artificial intelligence and let it launch attacks. Experiments proved that artificial intelligence-driven deep phishing outperformed traditional phishing. The malware generated by Weiwei Hu [14] and others based on the adversarial network (GAN) algorithm can effectively bypass the black box detector. Keywhan Chung et al. [22] used K-means clustering technology to generate self-learning malware that can disguise itself as an unintentional failure of computer infrastructure and destroy the computer environment control system. New types of malware have undoubtedly made network attack weapons more powerful. These powerful weapons are deployed into target systems or networks through intelligent service attacks, disguised as emails, etc., to prepare for subsequent destruction.

**Figure 3** DeepLocker

### *1.3. Automated penetration testing tools*

Penetration testing, as a means of finding vulnerabilities, can help defenders fix system flaws and also help network attackers launch attacks. Since the CGC competition organized by DARPA in 2016, automated penetration tools have been officially produced. The latest intelligent penetration architecture of DeepExploit, Mayhem, etc. [23] can achieve efficient, high-quality, and low-cost attack effects.

Mohamed C. Ghanem et al. [24] launched the Intelligent Automated Penetration Testing System (IAPTS), which uses the PT environment and task modeling method as part of the observation Markov decision-making process, and solves feasible strategies through POMDP, while reinforcement learning can Enhances PT in terms of time consumption, attack vectors covered, accuracy and precision, making it perform beyond any human PT expert. Q Li et al. [25] proposed an automated penetration testing method based on the DeepExploit architecture, using reinforcement learning agents to train using the A3C model [26] to gain experience in selecting precise payloads to exploit available vulnerabilities for rapid identification. Server vulnerabilities. It turns out that artificial intelligence has an advantage over humans in handling things like vulnerability mining.

**Figure 4** DeepExploit

### *1.4. Intelligent password guessing*

In terms of smart password cracking, Home Security Heroes launched a study and found that 51% of 15.6 million passwords can be cracked in less than 1 minute

through different types of artificial intelligence technology. If the cracking time is extended to one hour, then 65% of passwords can be cracked. Furthermore, if you continue to extend the cracking event, you will find that 71% of passwords can be cracked within a day and 81% of passwords can be cracked within a month. The specific password cracking situation is shown in Table 2. In addition, the company has developed a test software. When you enter a test password, it will give the estimated time for AI to decipher it. Of course, the improvement of smart password speed is inseparable from the long-term research of many scientific teams.

Fangyi Yu et al. [27] introduced GNPassGAN. When the output of Pass-GAN is combined with the output of HashCat, it can match 51%-73% more passwords than using HashCat alone. Zhiyang xia et al. [28] considered giving up. For the inefficient HashCat, they proposed GENPass, which uses PCFG+LSTM password generator and combines neural network and PCFG. Experiments have shown that this combination improves the deciphering rate by 16% to 30% compared to passwords using PCFG alone [29]. Dario Pasquini et al. [30] used deep learning to improve guessing representation learning for password deciphering, allowing artificial intelligence to quickly train to produce high deciphering results. Later, Fangyi Yu et al. [31] improved the generative adversarial network, which can be used for offline trawl password guessing. Compared with the state-of-the-art PassGAN model, GN-PassGAN can guess 88.03% more passwords and generate 31.69 fewer duplicates %. To this day, smart password cracking is still developing with the development of artificial intelligence technology, and continue to introduce more commercial products, smart password cracking makes the network kill weapons can be in the target network system to further execute the instructions, is the information theft, the instructions to execute the indispensable tool.

### *1.5. New text verification code solver (CAPTCHA)*

In order to prevent artificial intelligence from automatically performing high-frequency access, almost all systems and websites will set verification codes for human-machine verification. In these scenarios, traditional OCR technology [32] can achieve ordinary text verification code recognition without interference, but with the development of technology, malformed text verification codes bring new challenges. Therefore, the researchers also developed a new automatic identification method that uses artificial intelligence technology to achieve automatic identification based on verification codes with higher accuracy. In short, artificial intelligence technology can provide solutions for automated penetration with higher efficiency and lower costs.

Dongliang Xu et al. [33] improved the learning method of artificial intelligence, allowing it to independently select information-rich samples for learning without manual supervision to obtain real-time training labels, and then select successfully identified samples for neural network training, thereby achieving the goal of learning on a small scale. In the case of large-scale data sets, high-precision verification code

recognition function is realized and the speed of deciphering verification codes is improved. Tian Qian[34] et al. proposed a new verification code recognition system based on convolutional neural network and used the Tensorflow deep learning framework to apply the convolutional neural network to the field of verification code recognition. The verification code recognition rate reaches 92%. Yu, N et al. [35] used TOD+CNN technology to crack verification codes, and the effect was significantly better than TOD+Peak+CNN, with a cracking accuracy of more than 90%, and a character-level accuracy and verification rate of more than 75%. With the participation of artificial intelligence, verification code solving is not just about violently cracking numbers, but also automatically identifying text files, which facilitates the automatic deployment of attack weapons.

1.6. DGA generation based on deep learning

The DGA algorithm [36] is a technique used by malware that allows malware to dynamically generate a series of domain names to establish communication with a command-and-control server (C&C server). The use of DGA is designed to bypass network security measures, making the malware's communications stealthier and more difficult to track.

Currently, some researchers use well-known domain names on Alexa as training data to build a DeepDGA generation algorithm based on deep learning. The algorithm also uses LSTM [37] and GAN to build the overall architecture. Therefore, the domain name generated by this algorithm is very similar to the domain name of ordinary websites, which is difficult to detect with traditional detection methods. This is very conducive to the control of network anti-personnel weapons to infect the target system, send instructions and obtain data remotely, and ultimately achieve the purpose of network attacks.

H S. Anderson et al. [38] built a DGA based on deep learning, which can bypass deep learning-based detectors and generate domain names that are difficult to detect. Y Cheng et al. [39] A more threatening DGA, ShadowDGA uses a generative adversarial network (GAN) to simulate the distribution of benign domains. The results show that compared with existing DGA, the domains generated by ShadowDGA are the most difficult to detect. DGA generation technology based on deep learning ensures the concealment and persistence of the network kill chain and is an important part of the kill chain.

**Table 2** Password cracking timetable

## 3. AI empowers network defense

The above describes the role of artificial intelligence in the network kill chain. Although artificial intelligence brings huge challenges to network security defense, artificial intelligence has never been used only for attacks. On the contrary, artificial intelligence-driven network defense [40] can Its powerful learning and data analysis capabilities make up for the shortcomings of manual defense, greatly shorten the

interval between threat discovery and response, and realize automatic and rapid identification, detection and disposal of security threats. These functions play an important role in responding to various security threats, especially in discovering unknown threats and advanced *threats (such as APT) with high efficiency.*

**Figure 5** Generation of DGA domain name using GAN

### *3.1. Intelligent vulnerability mining and repair*

Vulnerabilities have always been an important part of cybersecurity. Intelligent vulnerability mining and remediation technology is more efficient than traditional vulnerability mining methods, and it can also help us proactively discover and defend against potential attacks. At the same time, intelligent vulnerability mining [41] can shorten the vulnerability discovery time and vulnerability repair time, and reduce the probability of asset loss. In addition, AI-based vulnerability repair technology can save more repair time compared to traditional technologies.

ZENAN CHU et al. [42] combined machine learning with classification mining and proposed a botnet vulnerability mining and countermeasure algorithm and system. Based on the characteristics of botnet group network attacks, computer group control, and distributed denial-of-service attacks, designed a botnet model and its construction method based on machine learning. Based on the analysis of botnet vulnerability forms and vulnerability diffusion patterns, a botnet vulnerability mining and countermeasures algorithm was proposed. Through simulation experiments, the average vulnerability of the algorithm was proved the detection rate exceeds 87%, and the vulnerability repair rate exceeds 86%. Claire Le Goues et al. [43] used GenProg, an evolutionary algorithm-based method inspired by biological evolution, to fix 55 of 105 vulnerabilities. The discovery of vulnerabilities is the key to both network offense and defense. Artificial intelligence can patch vulnerabilities and is a powerful tool to assist network defense.

### *3.2. Intelligent network and log detection*

An important measure to defend against the network kill chain is to strengthen boundary defense. Intrusion detection and prevention systems need to deal with a large amount of network traffic and log data in daily network security protection and detection. Traditional detection methods encounter bottlenecks when facing these massive data, resulting in low processing efficiency of the detection system and poor detection results. On the contrary, detection methods based on intelligent algorithms can highly capture the intrinsic relationships and characteristics in these massive traffic and log data. For example, detection methods can be combined with artificial intelligence-based strategies such as multi-perceptron and meta-learning to detect different or complex attack scenarios.

AJ Rodrigues[44] developed an intrusion detection system based on intelligent logs. The system uses unsupervised learning algorithms for training, especially the Kmeans algorithm [45] and the One Class SVM algorithm [46]. The results prove

that the system detects intrusion detection in test logs. The accuracy of the exception log mode is as high as 85%. With the help of artificial intelligence in manually processing log files, abnormal information can be detected as soon as possible, abnormal processing and alarms can be made, and preparations for subsequent attacks can be made.

### *3.3 Assisting network security decision-making based on ChatGPT*

ChatGPT is also a technology that can be used by security guards rather than hackers. There are several typical scenarios that have been officially integrated with ChatGPT [47]: phishing email detection, penetration payload identification, security document generation, incident response report generation, threat intelligence processing, etc. ChatGPT has demonstrated outstanding performance in reducing the cost, complexity, and timeliness of defenders' security operations.

### *2.4 Intelligent-based active security testing platform*

Another representative artificial intelligence-driven network security application is the active security testing platform based on artificial intelligence. The platform is based on CDSL-Yak, large language models and knowledge graphs. It also combines several types of core data accumulation, such as assets, vulnerabilities, and business information. The platform has efficient and low-cost security risk screening capabilities and is designed to actively carry out security testing and discover potential security risks hidden in the enterprise's target environment.

## 4 Conclusion

### *4.1 Challenges in AI technology development*

At present, the development of artificial intelligence technology still faces several challenges: The first is the accuracy of prediction. Artificial intelligence technology has recently been unable to achieve 100% detection accuracy, and in some cases, there will be some false positives. Second is data integrity. Data is critical to the utilization of artificial intelligence, but in some specific scenarios, data collection is difficult. Furthermore, the lack of datasets embodying key features is also a problem in related research. The third is interpretability. Artificial intelligence models, especially models based on deep learning that utilize high-dimensional data, are currently unable to solve problems such as interpretability and data ambiguity. The fourth is computing resources. With the rise of LLM-related models and technologies, the requirements for computing power are getting higher and higher, which has become a realistic requirement for cutting-edge artificial intelligence research. This is even more critical for some financially strapped regions. The fifth is public opinion around the world.

### *4.2 Challenges to network security*

In short, AI-based cyberattacks are completely transforming what used to be labor-intensive and costly attacks into a distributed, intelligent and automated direction compared to traditional cyberattacks. This is making attacks increasingly precise and automated. The AI-driven cyberattacks mentioned above are some of the

new challenges in the way of cyberattacks, which can be summarized in the following three categories of challenges.

First, the use of AI to learn the characteristics of the environment and enhance the adaptability and stealth of the attack. In the network environment of the attack target, the data, behavior, etc. have certain localized characteristics. Attackers use AI to collect and model the characteristics of data, behavior, etc. in the target network, and learn the normal data content, transmission frequency, delivery method, and other environmental characteristics of the target network environment; they refer to the environmental characteristics to choose the appropriate means of attack, disguise the attack data as normal data with normal characteristics of the target network, and disguise the attack behavior as the network behavior of the normal users in the target network; Realize environment-adaptive attack behavior, data hiding, enhance the covertness of the attack, and enhance the adaptability of the attack.

Second, the use of artificial intelligence to enhance the effect of distributed collaboration and improve the robustness of the attack. The attacker introduces distributed intelligent collaboration algorithms to evolve the traditional unified scheduling of distributed attack entities by the intelligent center to carry out collaborative attacks into the autonomous collaboration and group decision-making of centerless distributed multi-intelligent attack entities, thus improving the collaboration efficiency between multiple distributed attack nodes, reducing the dependence on centralized collaborative scheduling, reducing the risk of attack countermeasures, and enhancing the robustness of attacks.

Third, the use of artificial intelligence to realize the self-evolution of the attack method and improve the effectiveness of the attack. The attacker uses artificial intelligence to analyze the attack effect of different attack methods and the possible countermeasures of the defender, and then automatically selects a new attack mechanism for the defender's weaknesses, so as to realize the intelligent evolution of the attack method. For example, the attacker can take the results of the defender's intrusion detection system as feedback, use artificial intelligence technology to collect and model the feedback data, establish an attack effect model, dynamically adjust the appropriate attack method, and circumvent the intrusion detection system.

### *4.3 Recommendations for responding to AI attack threats*

We can also use artificial intelligence to address the global cybersecurity challenges posed by artificial intelligence. Some suggestions are as follows:

1. Strengthen research and application. Both the state and universities can promote the construction and enhancement of intelligent network systems that include attack and defense.

2. Strengthen sharing and utilization. Researchers are encouraged to solve artificial intelligence data problems in the construction of network attack and defense technology systems.

3. Strengthen confrontation and assessment. We work together to promote the

development of artificial intelligence cyber-attack and defense technologies in practical applications, bringing substantial benefits to the country, cooperation and individuals.

## *1. 引言*

人工智能技术起源于 1943 年，心理学家 Warren McCulloch 和数学家 Walter Pitts 提出了第一个神经元模型[1]。1950 年，计算机科学家 John McCarthy 提出了“人工智能”[2]这个词汇，并组织了首个人工智能会议。到了 50 年代到 70 年代，人工智能发展到专家系统在化学分析和诊断感染病方面得到使用。80 年代后，随着机器学习和神经网络的出现，人工智能由被动变成主动，自主在数据中学习和识别模式成为了现实。如今，通信技术与网络技术高度发展，人们使用互联网和物联网的数量也呈现爆发式的增长，在具备了大数据和深度学习的情况下，人工智能在图像识别和自然语言处理的方面甚至超过了人类的水平，在医疗、金融、农业等多个领域人工智能都能发挥出不错的效果。在未来，人工智能将会继续发展，用时也会推动着人类社会继续发展。

目前，几乎所有国家都发布了支持人工智能应用发展的政策。例如，白宫科技政策办公室[3]发布了“2019 年国家人工智能研发战略计划”；俄罗斯发布《人工智能在军事领域的发展现状与应用前景》；法国政府宣布，他们将在 5 年内投资 15 亿欧元，以促进人工智能战略的发展。至于合作，许多国际公司，如微软、IBM 和思科，也计划通过大型语言模型技术（LLM）来增强安全生态系统。

但是，人工智能在高速发展的同时，它也会为人类社会的各个领域带来新的挑战，在网络安全方面，人工智能技术可以提高传统安全系统的不足，提高其整体的安全性能，并针对越来越多的复杂网络威胁提供更好的保护[4]。同时人工智能的使用也对网络安全带来了风险和隐患。

面对人工智能参与网络安全这种不可避免的趋势，本文从网络杀伤链的角度出发，描述了 AI 在网络杀伤链[5]方面产生的新变化，展示出新型网络攻击在智能化拒绝服务攻击、恶意代码免杀、自动渗透测等方面表现出的新优势，引发人们对 AI 驱动的网络攻击的重视，然后又展示了，在网络防御方面，人工智能也能表现出不错的效果，尤其是网络漏洞的挖掘，漏洞的发现有利于网络攻击的执行，同样有有利于网络防御，提前修补漏洞，更有助于维护网络安全最后，本文总结性的概括 AI 技术发展的挑战以及 AI 对网络安全的挑战，并提出了维护网络安全的建议，旨在表明，全球网络安全的挑战需要与 AI 共同应对。

## *2. AI 驱动网络攻击*

在进行网络攻击时，把人工智能引入到攻击中，具备两点优势，一方面，人工智能技术使网络攻击任务更加自动化和可扩展，成本更低；另一方面，人

工智能技术能够自动分析攻击目标的安全防御机制，寻找弱点，然后基于这一弱点产生新的攻击，这种新攻击能绕过安全机制，获得更高的攻击成功率。从网络杀伤链模型来看，人工智能已经覆盖了整个网络攻击的生命周期，如表 1 所示。

*2.1. 智能化拒绝服务攻击*

侦察跟踪是网络杀伤链的第一阶段，在这个阶段，行动的核心主要是各种手段来尽可能获取被攻击者的信息，从而找到被攻击者的不足和漏洞，来保证攻击的有效性。DDos 攻击作为攻击的幌子辅助其他窃取信息的行为，能够起到侦察跟踪的作用。在智能拒绝服务（DoS）[6]攻击方面，随着僵尸网络和分布式拒绝服务（DDoS）攻击的规模更大、频率更高，DoS 集成 AI 将成为未来 DoS 攻击的主流形式。如今，一些 DDoS 攻击已经采用了人工智能技术，将数百万目标设备连接起来，构建群网络。这些有了 AI 自学习能力的群组网可以根据设备信息自行采取策略，而无需通过控制终端发送命令和其他敏感操作，真正实现了去中心化的自主智能协作，显著增强了 DDoS 同时攻击更多目标的能力。

***2.2. AI 在社会工程攻击应用***

社会工程是利用人的弱点来获取有价值的信息，侦察跟踪少不了社会工程的参与，在这方面，人工智能技术的发展发挥了关键作用，如人工智能语言翻译、人工智能数字处理、人工智能文本生成。具体来说，DeepFake 技术[7]能够虚假的视频、音频和图片，ChatGPT[8]能够实现智能聊天机器人。所有这些人工智能应用都表明，如果采用人工智能技术，社会工程攻击将降低成本，并大大提高成功率。Darktrac 名为“生成人工智能对电子邮件网络攻击的影响”的调查中，自 ChatGPT 发布以来，新的基于人工智能的社会工程攻击数量增加了 135%。具体来说，在过去三个月里，欺诈电子邮件的数量增加了 70%，导致 82%的人担心黑客现在正在使用人工智能技术自动快速生成无法区分的欺诈电子邮件。

Yuanshun Yao 等人[9]使用循环神经网络技术，能够生成假的评论，这些评论能够论不仅逃避人类的检测，而且调研发现，人们对它的认可度很高。J Seymour 等人[10]使用 SNAP_R 循环神经网路技术，可以学习针对特定用户发表钓鱼帖子，通过 Ip 跟踪链接的点击率证明，发布的假信息骗过了人们的眼睛。这些技术使用在诈骗邮件中就可以达到以假乱真的效果，稍有不慎，就会产生信息泄露。

***1.1. 恶意代码免杀***

恶意代码免杀[11]是构建网络杀伤链武器的基本要求，好的攻击武器就应该做到很难被破坏，免杀就是一个很好的保护方式，在这方面，多个研究团队分别提出了一些基于深度强化学习、API[12]序列插入和字节粒度梯度下降的算法。这些算法在模拟数据中实现静态免杀的成功率高达 90%。

Grosse K 等人[13]在攻击者知道神经网络模型的结构、参数的假设前提下在 DREBIN Android 数据集上使用基于攻击神经网络的前向导数算法来绕过 DNN 检测，成功率达到了 85%. Hu W[14]在攻击者知道恶意代码检测算法使用的功能的假设前提下在 malwr 数据集上使用替代检测器拟合黑盒检测系统的方法，使得黑盒检测器跟不上恶意软件调整的频率，基本上达到 100%的免杀，同时，他们又使用不相关的 API 序列插入来避开 RNN 基于顺序 API 特征来检测恶意软件[15]，测试免杀率达到了 96.97%~99.56%。KolosnjajiB 等人[16]在 VirusShare 等数据集上做测试，发现使用字节粒度的梯度下降算法能使恶意软件的免杀率达到 92.83%。Anderson H S 等人[17]使用基于针对 windows PE 机器学习模型的强化学习的黑盒攻击，在 Virus Share, VirusTotal 数据下进行的免杀测试，成功率达到了 99.3%。人工智能的参与提高了网络攻击武器的免杀能力，使其具有很高的使用性。

### *1.2. 新型恶意软件构建方法与利用*

当然，只靠恶意代码免杀无法完全保证网络攻击武器的有效性，于是攻击者开始使用人工智能技术构建具有新攻击模式的恶意软件。2018 年，IBM 的研究人员提出了 DeepLocker[18]，它开启了基于人工智能的恶意软件的开发。2023 年，黑客开始使用 ChatGPT 参与编写恶意软件。例如，CyberArk 的网络安全研究人员构建了一种与 ChatGPT 相结合的多态恶意软件[19]，可以自动实现代码突变的效果。因此，人工智能毒害恶意行为的触发机制给安全研究人员带来了巨大的挑战，因为传统的恶意软件分析方法很难有效分析人工智能产生的恶意行为，而且已经过时。

D Kirat 等人[20]使用 DeepLocker 技术隐藏软件的攻击行为，从而逃过检测，使恶意软件更好的运行。Bahnsen 等人[21]使用 DeepPhish 模式，对人工智能进行训练，让人工智能发起攻击，实验证明人工智能驱动的深度网络钓鱼完胜传统的网络钓鱼。Weiwei Hu[14]等人基于对抗网络（GAN）算法生成的恶意软件能够有效的绕过黑盒检测器。Keywhan Chung 等人[22]使用 K-均值聚类技术产生的自学习恶意软件，能够伪装成计算机基础设施的无意故障，破坏计算机环境控制系统。新型的恶意软件无疑使得网络攻击武器更加强大，这些强大的武器通过智能化服务攻击、伪装成邮件等方式部署到目标系统或网络中，为后续杀伤做准备。

### *1.3. 自动渗透测试工具*

渗透测试作为漏洞的查找手段，可以帮助防御者修复系统缺陷，也可以帮助网络攻击者发起攻击。自 2016 年 darpa 组织的 CGC 竞赛以来，自动化渗透工具正式产生。DeepExploit、Mayhem 等[23]最新的智能渗透架构，可以实现高效、高质量、低成本的攻击效果。

Mohamed C. Ghanem 等人[24]推出智能自动化渗透测试系统（IAPTS），将

PT 环境和任务建模的方法作为部分观察马尔可夫决策过程，由 POMDP 求解出可行的策略，而强化学习能在消耗时间、覆盖的攻击向量、准确性和准确性方面增强 PT，使其性能超出任何人类 PT 专家。Q Li 等人[25]在 DeepExploit 架构的基础上提出了一种自动化渗透测试方法，用强化学习代理使用 A3C 模型[26]进行训练，以获得选择精确有效负载来利用可用漏洞的经验来快速识别服务器的漏洞。事实证明，人工智能在处理漏洞挖掘等方面比人类更具优势。

### *1.4. 智能口令猜解*

在智能密码破解方面，Home Security Heroes 发起了一项研究，发现 1560 万个密码中，51%可以通过不同类型的人工智能技术在不到 1 分钟的时间内破解。如果破解时间延长到一小时，那么 65%的密码可以被破解。此外，如果继续延长破解事件就会发现 71%的密码可以在一天内破解，81%的密码可以一个月内破解。具体密码破解情况如表 2 所示。此外该公司开发了一个测试软件，当你输入一个测试密码的时候，他会给出 AI 预计破译的时间，当然智能密码速度的提升离不开许多科学团队长期的研究。

Fangyi Yu 等人[27]推出了 GNPassGAN，当 Pass-GAN 的输出与 HashCat 的输出结合起来时，能够比单独使用 HashCat 多匹配 51%-73%的密码，Zhiyang xia 等人[28]认为放弃了低效的 HashCat，他们提出了 GENPass，使用 PCFG+LSTM 密码生成器，结合了神经网络与 PCFG，实验证明这种结合比单纯使用 PCFG 的密码[29]破译率提高了高 16%–30%。 Dario Pasquini 等人[30]使用了深度学习来改进密码破译的猜测表征学习，使得人工智能能通过快速的训练出高破译的结果。后来 Fangyi Yu 等人[31]又改进了生成对抗网络，可用于离线拖网密码猜测，与最先进的 PassGAN 模型相比，GN-PassGAN 能够多猜测 88.03%的密码，并且生成的重复项减少了 31.69%。时至今日，智能密码破解还在随着人工智能技术的发展而发展，不断推出更多的商业产品，智能口令的破解使得网络杀伤武器能够在目标网络系统进一步执行指令，是信息窃取，指令执行必不可少的工具。

### *1.5. 新型文本验证码求解器*

为了防止人工智能自动执行高频率的访问，几乎所有的系统和网站都会设置验证码进行人机验证。在这些场景中，传统的 OCR 技术[32]可以在没有干扰的情况下实现普通文本验证码识别，但是随着技术的发展，格式错误的文本验证码带来了新的挑战。因此，研究人员还开发了一种新的自动识别方法，利用人工智能技术实现基于验证码的自动识别，并且精度更高。总之，人工智能技术可以以更高的效率和更低的成本为自动化渗透提供解决方案。

Dongliang Xu 等人[33]改进人工智能的学习方式，使其自主选择信息丰富的样本去学习，不需要人工监督来获取实时训练标签，然后挑选成功识别的样本进行神经网络训练，从而达到在小规模数据集的情况下实现高精度验证码识

别功能，提高验证码的破译速度。Tian Qian[34]等人基于卷积神经网络的验证码识别系统，提出一种基于卷积神经网络的新型验证码识别系统，利用Tensorflow深度学习框架将卷积神经网络应用到验证码识别领域，使验证码识别率达到92%。Yu, N等人[35]使用TOD+CNN的技术进行验证码破解，其效果明显优于TOD+Peak+CNN，破解精度高达90%以上，字符级准确率和验证率超过75%。有了人工智能的参与，验证码求解就不仅仅是暴力破解数字，而是自动识别文本文件，这为自动部署攻击武器提供了方便。

### *1.6. 基于深度学习的 DGA 生成*

DGA算法[36]一种恶意软件使用的技术，它允许恶意软件动态生成一系列域名，以建立与命令和控制服务器（C&C服务器）的通信。DGA的使用旨在绕过网络安全措施，使恶意软件的通信变得更加隐蔽和困难追踪。

表 1密码破解时间表

目前，一些研究人员利用Alexa上的知名域名作为训练数据，构建了一种基于深度学习的DeepDGA生成算法。该算法还使用LSTM[37]和GAN来构建整体架构。因此，该算法生成的域名与普通网站的域名非常相似，传统的检测方法很难检测到，这就很利于网络杀伤武器控制感染目标系统，从远程发送指令和获取数据，最终达成网络攻击的目的。

H S. Anderson等人[38]构建基于深度学习的DGA，能够绕过基于深度学习的检测器，生成难以检测的域名。Y Cheng等人[39]一种更具威胁性的DGA，ShadowDGA 利用生成对抗网络（GAN）来 模拟良性域的分布，结果表明，与现有 DGA 相比， ShadowDGA 生成的域是最难检测的。基于深度学习的 DGA 生成技术，保证了网络杀伤链的隐蔽性和持久性，是杀伤链的重要部分。

## 3. AI 赋能网络防御

上文讲述了人工智能在网络杀伤链中的作用，虽然人工智能给网络安全防御带来了巨大的挑战，但人工智能从来都不止用来攻击，反而人工智能驱动的网络防御[40]可以通过其强大的学习和数据分析能力来弥补人工防御的不足，大大缩短威胁发现和响应之间的间隔，实现自动、快速识别、检测和处置安全威胁，这些功能在应对各种安全威胁方面 发挥重要作用，尤其是在发现未知威胁和先进威胁 （如 APT）方面具有很高的效率。

### *3.1. 智能化漏洞挖掘与修复*

漏洞一直是网络安全的重要组成部分。智能漏洞挖掘和修复技术比传统的漏洞挖掘方法更高效，它还可以帮助我们主动发现和防御潜在的攻击。同时，智能漏洞挖掘[41]可以缩短漏洞发现时间和漏洞修复时间，降低资产损失的概率。此外，与传统技术相比，人工智能的漏洞修复技术还可以节省更多的修复

时间。

ZENAN CHU 等人[42]将机器学习与分类挖掘相结合，提出了一种僵尸网络漏洞挖掘与对策算法及其系统，根据僵尸网络群体网络攻击、计算机群控、分布式拒绝服务攻击等特点，设计了基于机器学习的僵尸网络模型及其构建方法在分析僵尸网络漏洞形式和漏洞扩散模式的基础上，提出了一种僵尸网络漏洞挖掘与对抗算法，通过仿真实验，证明了该算法平均漏洞检出率超过 87%，漏洞修复率高于 86%。Claire Le Goues 等人[43]使用一种受生物进化启发的基于进化算法的方法 GenProg，修复了 105 各漏洞的 55 个。漏洞的发现是网络攻防双方的关键，人工智能实现漏洞修补，是辅助网络防御的利器。

### *3.2. 智能化网络与日志检测*

防御网络杀伤链的一个重要举措就是强化边界防御，而入侵检测和防御系统在日常网络安全保护和检测中，需要应对大量的网络流量和日志数据。传统的检测方法在面对这些海量数据时遇到了瓶颈，导致检测系统处理效率低，检测结果差。相反，基于智能算法的检测方法可以高度抓取这些海量流量和日志数据中的内在关系和特征。例如，检测方法可以与多感知机、元学习等基于人工智能的策略相结合，实现对不同或复杂攻击场景的检测。

AJ Rodrigues[44]开发了一个基于智能日志的入侵检测系统，该统使用无监督学习算法进行训练，特别是 Kmeans 算法[45]和 One Class SVM 算法[46]，结果证明该系统检测测试日志中的异常日志模式的准确率高达 85%。有了人工智能帮助人工处理日志文件，就能尽快检测出异常信息，做出异常处理和告警为后续抵御攻击做准备。

### *3.3 基于 ChatGPT 辅助网络安全决策*

ChatGPT 也是一种可用于安全卫士而非黑客的技术。有几个典型的场景已经与 ChatGPT 正式结合[47]: 钓鱼电子邮件检测、渗透负载识别、安全文档生成、事件响应报告生成、威胁情报处理等。ChatGPT 在降低防御者安全操作的成本、复杂性和及时性方面表现出了出色的性能。

### *3.4. 基于智能化的主动安全测试平台*

另一个具有代表性的人工智能驱动的网络安全应用是基于人工智能的主动安全测试平台。该平台基于 CDSL-Yak、大型语言模型和知识图。它还结合了几种类型的核心数据积累，如资产、漏洞和业务信息。该平台具有高效、低成本的安全风险筛查能力，旨在积极开展安全测试工作，发现企业目标环境中隐藏的潜在安全风险。

*3*结语

### *4.1. AI 技术发展的挑战*

目前，人工智能技术的发展仍面临几个挑战：首先是预测的准确性。人工智能技术最近无法达到 100%的检测准确率，在某些情况下会出现一些假阳性。

其次是数据的完整性。数据对人工智能的利用至关重要，但在某些特定场景中数据收集很困难。此外，缺乏象征关键特征的数据集也是相关研究的一个问题第三是可解释性，人工智能模型 ，特别是基于深度学习的利用高维数据的模型，目前无法解决可解释性和数据模糊性等问题。第四是计算资源。随着 LLM 相关模型和技术的兴起，对计算能力的要求越来越高，成为前沿人工智能研究的现实要求。对于一些财政拮据的地区来说，这一点更为关键。五是全世界的舆论。

### *4.2. 对网络安全的挑战*

总之，与传统的网络攻击相比，基于人工智能的网络攻击正在将过去劳动密集、成本高昂的攻击方式彻底转变为分布式、智能化和自动化的方向。这使得攻击变得越来越精确和自动化。上文 AI 驱动的网络攻击提到网络攻击方式就是一些新的挑战，具体可归纳以下三类挑战。

一是利用人工智能学习环境特征，增强攻击的适应性与隐蔽性。在攻击目标的网络环境中，数据、行为等均具有一定的本地化特征。攻击者利用人工智能对目标网络中的数据、行为等特征等进行收集和建模，学习目标网络环境中正常的数据内容、传输频率、传递方法等环境特征；参考环境特征来选择合适的攻击手段，将攻击数据伪装成目标网络中具有正常特征的普通数据，将攻击行为伪装成目标网络中正常用户的网络行为；实现环境自适应的攻击行为、数据隐藏，提升攻击的隐蔽性，增强攻击的适应性。

二是利用人工智能增强分布式协作效果，提高攻击的鲁棒性。攻击者引入分布式智能协同算法，将传统的由智能中心统一调度分布式攻击实体开展协作攻击，演化为无中心的分布式多智能攻击实体的自主协同和群体决策，从而提高多个分布式攻击节点之间的协作效率，降低对中心化协同调度的依赖性，减少攻击反制的风险，提升攻击的鲁棒性。

三是利用人工智能实现攻击方式的自我进化，提升攻击的有效性。攻击者利用人工智能分析不同攻击方式下的攻击效果及防御方的可能应对措施，进而针对防御方的弱点自动选择新的攻击机制，据此实现攻击方式的智能进化。例如，攻击者可将防御方入侵检测系统的结果作为反馈，采用人工智能技术对反馈数据进行收集和建模分析，建立攻击效果模型，动态调整合适攻击方式，规避入侵检测系统。

### *4.3. 对 AI 攻击威胁的应对建议*

我们也可以使用人工智能来应对人工智能带 来的全球网络安全挑战。 一些建议如下：

1. 加强研究和应用。国家和大学都可以促进包括攻击和防御的智能网络系统的建设和增强。

2. 加强共享利用。鼓励研究人员破解网络攻防 技术体系建设中的人工智

能数据问题。

3. 加强对抗和评估。我们共同努力，推动人工 智能网络攻击和防御技术在实际应用中的发展， 为 国家、合作和个人带来实质性利益。

***Литература*** ***References*** **參考書目**


1. GERSTNER W, NAUD R. How good are neuron models? [J]. Science,2009, 326(5951):379-380

2. WU F, LU C, ZHU M, et al. Towards a new generation of artificial intelligence in China [J]. Nature Machine Intelligence, 2020, 2(6):312-316.

3. BAL R, GILL I S. Policy approaches to artificial intelligence-based technologies in China, European Union and the United States [J]. 2020.WIRKUTTIS N, KLEIN H. Artificial intelligence in cybersecurity[J]. Cyber, Intelligence, and Security, 2017, 1(1):103-119.

4. GUEMBE B, AZETA A, MISRA S, et al. The emerging threat of AI- driven cyber-attacks: A review[J]. Applied Artificial Intelligence, 2022,36(1):2037254.

5. MIRKOVIC J, REIHER P. A taxonomy of DDoS attack and DDoS defense mechanisms[J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review,2004, 34(2):39-53.

6. WESTERLUND M. The emergence of deepfake technology: A review[J]. Technology innovation management review, 2019, 9(11).

7. WU T, HE S, LIU J, et al. A brief overview of ChatGPT: The history, status quo and potential future development[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 2023, 10(5):1122-1136.

8. YAO Y, VISWANATH B, CRYAN J, et al. Automated crowdturfing attacks and defenses in online review systems[C]//Proceedings of the 2017 ACM SIGSAC conference on computer and communications security. [S.l.: s.n.], 2017: 1143-1158.

9. SEYMOUR J, TULLY P. Weaponizing data science for social engineering: Automated e2e spear phishing on twitter[J]. Black Hat USA,2016, 37:1-39.

10. SKOUDIS E, ZELTSER L. Malware: Fighting malicious code[M].[S.l.]: Prentice Hall Professional, 2004.

11. GU X, ZHANG H, ZHANG D, et al. Deep API learning[C]//Proceedings of the 2016 24th ACM SIGSOFT international symposium on foundations of software engineering. [S.l.: s.n.], 2016: 631-642.

12. GROSSE K, PAPERNOT N, MANOHARAN P, et al. Adversarial perturbations against deep neural networks for malware classification[J]. arXiv preprint arXiv:1606.04435, 2016.

13. HU W, TANY. Generating adversarial malware examples for black-box attacks based on GAN[C]//International Conference on Data Mining and Big Data. [S.l.]: Springer, 2022: 409-423.

14. HU W, TAN Y. Black-box attacks against RNN based malware detection algorithms[C]//Workshops at the Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence. [S.l.: s.n.], 2018.

15. KOLOSNJAJI B, DEMONTIS A, BIGGIO B, et al. Adversarial malware binaries: Evading deep learning for malware detection in executables[C]//2018 26th European signal processing conference (EUSIPCO).[S.l.]: IEEE, 2018: 533-537.

16. ANDERSON H S, KHARKAR A, FILAR B, et al. Learning to evade static PE machine learning malware models via reinforcement learning arXiv preprint arXiv:1801.08917, 2018.

17. TADDEO M. Three ethical challenges of applications of artificial intelligence in cybersecurity[J]. Minds and Machines, 2019, 29:187-191.

18. ALRZINI J R S, PENNINGTON D. A review of polymorphic malware detection techniques[J]. International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology, 2020, 11(12):1238-1247.

19. KIRAT D, JANG J, STOECKLIN M. Deeplocker–concealing targeted attacks with ai locksmithing[J]. Blackhat USA, 2018, 1:1-29.

20. BAHNSEN A C, TORROLEDO I, CAMACHO L D, et al. Deep- phish: simulating malicious ai[C]//2018 APWG symposium on electronic crime research (eCrime). [S.l.: s.n.], 2018: 1-8.

21. CHUNG K, KALBARCZYK Z T, IYER R K. Availability attacks on computing systems through alteration of environmental control: smart malware approach[C]//Proceedings of the 10th ACM/IEEE inter-national conference on cyber-physical systems. [S.l.: s.n.], 2019: 1-12.

22. YAMIN M M, ULLAH M, ULLAH H, et al. Weaponized ai for cyber-attacks [J]. Journal of Information Security and Applications, 2021, 57:102722.

23. GHANEM M C, CHEN T M. Reinforcement learning for efficient net-work penetration testing[J]. Information, 2019, 11(1):6.

24. NHU NX, NGHIATT, QUYEN NH, et al. Leveraging deep reinforcement learning for automating penetration testing in reconnaissance and exploitation phase[C]//2022 RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies (RIVF). [S.l.]: IEEE, 2022:41-46.

25. BABAEIZADEHM, FROSIO I, TYREE S, et al. Ga3c: GPU-based a3cfor deep reinforcement learning[J]. CoRR abs/1611.06256, 2016.

26. HITAJ B, GASTI P, ATENIESE G, et al. Passgan: A deep learning approach for password guessing[C]//Applied Cryptography and Network Security: 17th International Conference, ACNS 2019, Bogota, Colombia, June 5–7, 2019, Proceedings 17. [S.l.]: Springer, 2019: 217-237.

27. XIA Z, YIP, LIU Y, et al. Genpass: A multi-source deep learning model for password guessing[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2019, 22(5):1323-1332.

28. HOUSHMAND S, AGGARWAL S, FLOOD R. Next gen pcfg password cracking[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2015, 10(8):1776-1791.

29. PASQUINI D, GANGWAL A, ATENIESE G, et al. Improving password guessing via representation learning[C]//2021 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP). [S.l.]: IEEE, 2021: 1382-1399.

30. YU F, MARTIN MV. Gnpassgan: improved generative adversarial net- works for trawling offline password guessing[C]//2022 IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops (EuroS&PW). [S.l.]: IEEE, 2022: 10-18.

31. MORI S, SUEN C Y, YAMAMOTO K. Historical review of OCR research and development[J]. Proceedings of the IEEE, 1992, 80(7):1029-1058.

32. XU D, WANG B, DU X, et al. Verification code recognition based on active and deep learning[C]//2019 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC). [S.l.]: IEEE, 2019: 453-456.

33. TIAN Q, SONG Q, WANG H, et al. Verification code recognition based on convolutional neural network[C]//2021 IEEE 4th Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC): volume 4. [S.l.]: IEEE, 2021: 1947-1950.

34. YU N, DARLING K. A low-cost approach to crack python captchas using ai-based chosen-plaintext attack[J]. Applied Sciences, 2019, 9(10):2010.

35. SCHIAVONI S, MAGGI F, CAVALLARO L, et al. Phoenix: DGA-detection of intrusions and malware, and vulnerability assessment. [S.l.]: Springer, 2014: 192-211.

36. YU Y, SI X, HU C, et al. A review of recurrent neural networks: Lstmcells and network architectures[J]. Neural computation, 2019, 31(7):1235-1270.

37. ANDERSON H S, WOODBRIDGE J, FILAR B. Deepdga: Adversarially-tuned domain generation and detection[C]//Proceedings of the 2016 ACM workshop on artificial intelligence and security. [S.l.:s.n.], 2016: 13-21.

38. ZHENG Y, YANG C, YANG Y, et al. ShadowDGA: Toward evading DGA detectors with GANs[C]//2021 International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN). [S.l.]: IEEE, 2021:1-8.

39. JUN Y, CRAIG A, SHAFIKW, et al. Artificial intelligence application in cybersecurity and cyberdefense [J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2021, 2021:1-10.

40. SHAH I A, RAJPER S, ZAMANJHANJHI N. Using ml and data-mining techniques in automatic vulnerability software discovery[J]. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, 2021, 10(3).

41. CHU Z, HAN Y, ZHAO K. Botnet vulnerability intelligence clustering classification mining and countermeasure algorithm based on machine learning[J]. IEEE Access, 2019, 7:182309-182319.

42. LE GOUES C, DEWEY-VOGT M, FORREST Set al. A systematic study of automated program repair: Fixing 55 out of 105 bugs for 8eac*h*[c]//201234 International conference on software Engineering (IcsE).[s.l.] :IEEE,2012 : 3 − 13.

43. RODRIGUES A. Automated log analysis using ai: intelligent intrusion detection system[J]. Computer, 2013, 132:0886.

44. AHMED M, SERAJ R, ISLAM S M S. The k-means algorithm: A comprehensive survey and performance evaluation[J]. Electronics, 2020, 9(8):1295.

45. JOACHIMS T. Making large-scale SVM learning practical[R]. [S.l.]: Technical report, 1998.

46. GUPTA M, AKIRI C, ARYAL K, et al. From ChatGPT to ThreatGPT: Impact of generative ai in cybersecurity and privacy[J]. IEEE Access, 2023.

47. WU Y. A method of character verification code recognition in network based on artificial intelligence technology[J]. International Journal of Information and Communication Technology, 2020, 16(4):325-338.

48. MUSUMECI F, FIDANCI A C, PAOLUCCI F, et al. Machine-learning-enabled DDoS attacks detection in p4 programmable networks[J]. Journal of Network and Systems Management, 2022, 30:1-27.

DOI 10.18699/sblai2023-44

# AIOT Пространственно-временное управление данными и анализ данных

# AIOT Spatial-Temporal Data Management and Data Intelligence

# AIOT 时空数据管理与数据智能

Чжимин Дин
Zhiming Ding
丁治明
*Российская инженерная академия, Москва, Россия*
*Институт программного обеспечения Китайской академии наук, Пекин 100190, КНР*
*Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia*
*Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, P. R. China*
*中国科学院软件研究所, Beijing 100190, P. R. China*
*zhiming@iscas.ac.cn;*

Цзинь Янь
Jin Yan
严瑾
*Институт программного обеспечения Китайской академии наук, Пекин 100190, КНР*
*Университет Китайской академии наук, Пекин 100049, КНР*
*Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, P. R. China*
*University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P. R. China*
*[2] 中国科学院软件研究所, Beijing 100190, P. R. China*
*[3] 中国科学院大学, Beijing 100049, P. R. China*
*yvette.yan@mails.ucas.edu.cn*

Синьжунь Сюй
Xinrun Xu
徐馨润
*Институт программного обеспечения Китайской академии наук, Пекин 100190, КНР*
*Университет Китайской академии наук, Пекин 100049, КНР*
*Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, P. R. China*
*University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P. R. China*
*[2] 中国科学院软件研究所, Beijing 100190, P. R. China*
*[3] 中国科学院大学, Beijing 100049, P. R. China*
*xuxinrun20@mails.ucas.ac.cn;*

В докладе представлены основные проблемы и решения AIoT (AI+IOT), а также его применения и перспективы в различных областях. AIoT, интегрирующий искусственный интеллект с IoT (Интернетом вещей), представляет собой сложную и интеллектуальную систему, включающую в себя расширенный сбор и обработку данных и интеллектуальные терминалы, такие

как распознавание изображений и композитные интеллектуальные датчики, применимые в таких сценариях, как интеллектуальные инвалидные коляски для пожилых людей [1,3]. Создание такой системы AIoT предполагает формирование распределенной интеллектуальной вычислительной среды, централизовано обрабатывающей интеллектуальные внешние данные во внутреннем центре обработки данных. Интегрированное решение на периферийном облаке может обеспечить распределенные интеллектуальные вычисления с облачной обработкой глобальной обработки данных, управлением периферийным интеллектом и, наконец, внедрением специализированных сложных интеллектуальных устройств. Более конкретные задачи интегрированного решения на периферии облака включают в себя: облако должно сочетать в себе интеллектуальный интеллект IoT+GEO для обработки гетерогенных пространственно-временных типов данных в режиме реального времени [2]; периферия отвечает за обеспечение общих интеллектуальных вычислений и управление данными; конец должен иметь специальные возможности обработки данных для достижения интеллектуальной загрузки.

Для решения этих задач наше решение состоит из трех основных частей: 1. *Выражение больших пространственно-временных данных AIoT и их обработка в реальном времени* [5]. Мы разработали унифицированную технологию доступа к разнородным сенсорным данным, совместному хранению в реальном времени и анализу пространственно-временных данных. модели векторного выражения больших данных, и мы создали платформу GSTRIA для географического пространственно-временного интерактивного анализа больших данных в реальном времени. 2. *AI-анализ больших пространственно-временных данных*. У нас есть усовершенствованные алгоритмы анализа траекторий [4], алгоритмы распознавания изображений, алгоритмы видеоанализа и другие задачи. Приложения охватывают анализ эмоций, обнаружение, отслеживание и распознавание нескольких целей, мониторинг ключевых групп населения или людей, своевременное прогнозирование значимых событий и т. д. [6]. 3. *Платформа периферийных вычислений AIoT и совместное управление данными на границе облака.* Мы разработали «Мозг спутника». спутниковая платформа больших данных (GSTRIA-STAR) для облачных совместных вычислений на орбите. Эта платформа обеспечивает быстрое создание 3D-карт, обнаружение, распознавание и картографирование целей в реальном времени, а также метеорологическое распознавание атмосферных изображений.

Объединив искусственный интеллект и Интернет вещей, AIoT открывает путь к созданию более умных и эффективных систем, которые решают существующие проблемы, а также закладывают основу для новых в будущем. Наши разработанные решения продолжают расширять границы AIoT, раскрывая огромный потенциал для революционных приложений в различных

отраслях.

The paper presents the main challenges and solutions of AIoT (AI+IOT), as well as its applications and prospects in various domains. AIoT, integrating AI with IoT (the Internet of Things), constitutes a sophisticated and intelligent system encompassing advanced data acquisition, data processing, and smart terminals, such as image recognition and composite intelligent sensors, applicable in scenarios like smart city and urban intelligent traffic network [1,3]. Establishing this kind of AIoT system involves a distributed intelligent computing environment processing intelligent front-end data at a centralized back-end data center. A cloud-edge-end integrated solution can enable distributed intelligent computing with cloud handling global data processing, edge managing edge intelligence, and the end implementing specialized complex intelligent devices. More specific challenges of cloud-edge-end integrated solution include: the cloud should combine IoT+GEO deep fusion intelligence to handle heterogeneous spatio-temporal data types in real-time [2]; the edge is responsible for providing general intelligent computing and data management; the end needs to have dedicated data processing capabilities to achieve intelligent loading. To tackle these challenges, our solution consists of three main parts: 1. AIoT spatio-temporal big data expression and real-time processing [5]. We developed unified access technology for heterogeneous sensor data, Real-time collaborative storage, and analysis of spatio-temporal big data vector expression models, and we established the GSTRIA platform for Geographic Spatial-Temporal big-data Real-time Interactive Analysis. 2. AI analysis of spatio-temporal big data. We have enhanced trajectory analysis algorithms [4], image recognition algorithms, video analysis algorithms, and other tasks. Applications encompass emotion analysis, multi-target detection, tracking and recognition, key population or person monitoring, timely prediction of significant events, etc [6]. 3. AIoT edge computing platform and cloud-edge collaborative data management. We developed the "Brain of Satellite" satellite-based big data platform (GSTRIA-STAR) for cloud-edge-end collaborative on-orbit computing. This platform facilitates rapid 3D map generation, real-time target acquisition, recognition, and mapping, as well as meteorological recognition for atmospheric imagery.

By combining AI and IoT, AIoT paves the way for the creation of smarter, more effective systems that handle existing problems while also laying the groundwork for new ones in the future. Our developed solutions continue to push the boundaries of AIoT, unleashing the immense potential for revolutionary applications across diverse industries.

本文介绍了 AIoT (AI+IOT)的主要挑战和解决方案，以及 AIoT 在各个领域的应用和前景。AIoT 是人工智能与物联网(IoT)的融合，是一个包含先进的数据采集、数据处理以及图像识别、复合智能传感器等智能终端的复杂智能系统适用于智慧城市、智慧交通[1，3]等场景。这种 AIoT 系统的建立涉及到一个

分布式的智能计算环境，在一个集中的后端数据中心处理智能前端数据。云-端集成解决方案可以实现分布式智能计算，云处理全局数据处理，边缘管理边缘智能，端实现专门的复杂智能设备。云端集成解决方案更具体的挑战包括:云应结合物联网+GEO 深度融合智能，实时处理异构时空数据类型[2];边缘负责提供通用智能计算和数据管理;终端需要有专门的数据处理能力，实现智能加载。

为了应对这些挑战，我们的解决方案由三个主要部分组成:1。AIoT 时空大数据表达与实时处理[5]。开发异构传感器数据统一接入技术、实时协同存储技术、时空大数据矢量表达模型分析技术，建立地理时空大数据实时交互分析 GSTRIA 平台。时空大数据人工智能分析。我们已经增强了轨迹分析算法[4]、图像识别算法、视频分析算法和其他任务。应用领域包括情绪分析、多目标检测、跟踪和识别、关键人群或人员监控、重大事件的及时预测等[6]。AIoT 边缘计算平台和云边缘协同数据管理。开发“卫星大脑”星基大数据平台，实现云端协同在轨计算。该平台促进了快速 3D 地图生成、实时目标获取、识别和制图，以及大气图像的气象识别。

通过结合人工智能和物联网，AIoT 为创建更智能、更有效的系统铺平了道路，这些系统可以处理现有问题，同时也为未来的新问题奠定了基础。我们开发的解决方案不断推动 AIoT 的发展，为各行各业的革命性应用释放出巨大的潜力。

***Литература*** ***References*** **参考書目**


1. Cai Z, Li T, Su X, et al. Research on analysis method of characteristics generation of urban rail transit [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2019, 21(9): 3608-3620.

2. Wang Z, Zhang L, Ding Z. Hybrid time-aligned and context attention for time series prediction [J]. *Knowledge-Based Systems*, 2020, 198: 105937.

3. Chang M, Ding Z, Cai Z, et al. Prediction of Evolution Behaviors of Transportation Hubs Based on Spatiotemporal Neural Network [J]. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2021, 23(7): 9171-9183.

4.Jiang S, Ding Z, Zhu M, et al. Graph wavelet convolutional neural network model for spatio-temporal graph modeling [J]. *Journal of Software*, 2021, 32(3): 726-741. (in Chinese)

5. Ding Z, Jiang S, Xu X, et al. An Internet of Things based scalable framework for disaster data management [J]. *Journal of Safety Science and Resilience*, 2022, 3(2): 136-152.

6. Xu X, Jiang S, Ding Z, et al. Crowd emergency evacuation planning model based on spatiotemporal sensing data [J/OL]. *Journal of Computers*, 2023, 46(7): 1427-1444. (in Chinese)

DOI 10.18699/sblai2023-36
УДК 573.7, 007

# *Доктрина энергоинформационной эволюции на основе био-антенных решеток и алгебраическая биология*

# *Doctrine of energy-informational evolution based on bio-antenna arrays and algebraic biology*

# *基於生物天線陣列和代數生物學的能量資訊演化學說*

Петухов С.В.
д.ф.-м.н., Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН,
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Institute of Mechanical Engineering named after. A.A. Blagonravov RAS,
機械科學研究所物理和數學科學博士 A.A. 布拉貢拉沃夫 RAS
*http://petoukhov.com/, spetoukhov@gmail.com*

***Аннотация***. Статья посвящена развитию алгебраической биологии в связи с универсальными правилами стохастической организации информационных последовательностей геномных ДНК высших и низших организмов. Анализ этих особенностей важен для понимания наследуемой способности живых систем к помехоустойчивому развитию с ростом числа их параметров и воспроизведением родительских признаков. Результаты анализа позволили выдвинуть доктрину энергоинформационной эволюции на основе био-антенных решеток, а также предложить подходы для моделирования биологического дуализма «стохастика-детерминизм» и ряда других биофеноменов с позиций формализмов квантовой информатики. Изложенные феноменологические данные и инструменты матрично-тензорного анализа, связанные, в том числе, с гиперболической геометрией Лобачевского и многомерными гиперболическими числами, полезны для развития систем искусственного интеллекта геноморфного типа и алгебраической биологии.

***Ключевые слова***: геномные ДНК, алгебраическая биология, антенные решетки, стохастика, детерминизм, искусственный интеллект, квантовая информатика.

***Abstract.*** The article is devoted to the development of algebraic biology in connection with the universal rules of stochastic organization of information sequences of genomic DNAs of higher and lower organisms. Analysis of these DNAs features is important for understanding the heritable ability of living systems to possess noise-immunity under conditions of an increasing the number of their parameters and the reproduction of parental characteristics. The results of the analysis made it possible to put forward the doctrine of energy-informational evolution based on bio-antenna arrays, as well as to propose approaches for modeling the biological dualism “stochastics-determinism” and a number of other bio-phenomena from the standpoint of formalisms of quantum information science. The presented phenomenological data and tools of matrix-tensor analysis, associated, among other things, with Lobachevsky’s hyperbolic geometry and multidimensional hyperbolic numbers, are useful for the development of artificial intelligence systems of the genomorphic type and algebraic biology.

***Keywords:*** genomic DNA, algebraic biology, antenna arrays, stochastics, determinism, artificial intelligence, quantum information science.

***註解***。 本文致力於與高等和低等生物體基因組 DNA 訊息序列隨機組織的普遍規則相關的代數生物學的發展。 對這些特徵的分析對於理解生命系統隨著參數數量的增加和親代特徵的繁殖而發展出抗噪聲能力的遺傳能力非常重要。 分析結果使得提出基於生物天線陣列的能量資訊演化學說成為可能，並從該角度提出生物二元論「隨機決定論」和許多其他生物現象的建模方法量子資訊科學的形式主義。 所提出的現象學資料和矩陣張量分析工具，除其他外，與羅巴切夫斯基的雙曲幾何和多維雙曲數相關，對於基因型類型和代數生物學的人工智慧系統的開發很有用。

***關鍵字***：基因組 DNA、代數生物學、天線陣列、隨機學、決定論、人工智慧、量子資訊科學。

## *1. Введение*

Живые организмы наделены врожденными интеллектуальными способностями для поиска пищи, спасения от хищников, спаривания, строительства (паутина пауков, соты пчел, сложные гнезда птиц-ткачей и пр.). Особенный интерес вызывает генетический интеллект, под которым мы понимаем ту часть интеллектуальных потенций живых организмов, которая позволяет на основе генетической информации в молекулах ДНК и РНК выстроить, например, из одной оплодотворенной клетки организм с триллионами клеток. При этом в так выстроенном организме многоканальным помехоустойчивым образом воспроизводятся родительские признаки, несмотря на сильные шумы и постоянно меняющиеся по ходу жизни условия питания и внешних воздействий. Поражают функциональные характеристики генетической системы. Например, скорость репликации (считывания «текста») нити ДНК у бактерии Esherichia coli составляет свыше 1000 нуклеотидов в секунду [Bank, 2022] (именно удивление скоростями «генетических автоматов» привело выдающегося математика Ю.И.Манина к пионерской идее квантовых компьютеров [Манин, 1980]). Ферменты в живых телах работают в миллионы раз эффективнее, чем лучшие катализаторы в лабораториях: то, что делает фермент в живом теле за 1 секунду, катализатор в лаборатории может сделать только за 100 тысяч лет. При создании систем искусственного интеллекта следует **подсматривать у живой природы алгоритмы и универсальные структуры генетического наследования.** Статья посвящена некоторым результатам такого подсматривания через призму алгебры.

В исследованиях живого следует помнить о **ключевом отличии живых тел от неодушевленных**, на которое указывали создатели квантовой механи-ки П.Йордан и Э.Шредингер: неодушевленные объекты управляются средним случайным движением их миллионов частиц и движение отдельных частиц не существенно для целого; напротив, в живом организме избранные – генетические - молекулы обладают диктаторским влиянием на весь организм за счет квантового усиления (см. историю «квантовой биологии» [McFadden, Al-

Khalili, 2018]). В соответствие с этим для раскрытия секретов и патентов живой природы необходимо изучение закономерностей информатики ДНК. Целью статьи является представление авторских результатов такого исследования.

Генетика как наука началась с открытия Менделем правил стохастического (вероятностного) наследования признаков в экспериментах по скрещиванию организмов. Многие процессы в живых телах являются стохастическими. Даже генетически идентичные клетки в одной ткани имеют разные уровни белковой экспрессии, разные размеры и структуру в силу стохастической природы взаимодействия отдельных молекул в клетках. Статистическая природа наследования признаков в «малом» кардинально отличается от детерминированного наследования признаков в «большом» (тема гештальт-биологии). Например, отпечатки кончиков пальцев у всех людей различны при том, что пальцы в «целом» детерминированы по форме и строению (3 фаланги и пр.). Тем самым, биологические феномены связаны с дуализмом «стохастика-детерминизм», изучение которого может привести к построению искусственного интеллекта геноморфного типа, а также дать свой вклад в генетическую инженерию новых материалов, биомедицинские технологии, персональную генетику и пр.

Согласно закону Менделя независимого наследования признаков, информация с уровня молекул ДНК диктует макроструктуры живых тел по многим независимым каналам несмотря на сильные шумы. Так, цвета волос, глаз и кожи наследуются независимо друг от друга. Соответственно, **каждый организм является машиной многоканального помехоустойчивого кодирования**. Автор первой публикации о квантовой биологии П. Йордан утверждал, что упущенные наукой законы живых организмов являются законами вероятностей [McFadden, Al-Khalili, 2018]. В настоящей статье представлены некоторые из открытых автором универсальных правил стохастической организации ДНК геномов высших и низших организмов. Эти результаты привели к авторской доктрине энерго-информационной эволюции на основе био-антенных решеток, выявлению глубокой связи ДНК информатики с формализмами квантовой информатики и алгебрами $2^n$-мерных гиперболических чисел в связи с алгебро-биологическими подходами к искусственному интеллекту [Петухов, 2022; Petoukhov, 2021, 2022a,b,c, 2023; Petoukhov, He, 2010, 2023]. Перейдем к представлению полученных результатов.

### *2. О био-антенных решетках и их участии в эволюции живого*

Информационные последовательности нуклеотидов в однонитевых ДНК геномов высших и низших организмов обладают общими статистическими закономерностями, которые являются кандидатами на роль универсальных генетических правил биологической эволюции [Petoukhov, 2022a; Petoukhov, He, 2023]. Эти правила вероятностей $n$-плетов ДНК были выявлены автором

при анализе множества геномных ДНК из генетического банка данных GenBank, включая следующие: 1) всех 24 хромосом человека; 2) всех хромосом дрозофилы, мыши, червя, многих растений; 3) 19 геномов бактерий и архей; 4) многих экстремофилов, живущих в экстремальных условиях, например, радиации с уровнем в 1000 раз превышающим смертельный для человека.

В ходе анализа этих универсальных правил автор обратил внимание на то, что в каждой конкретной геномной ДНК взаимосвязь соответствующих ($2^n$*$2^n$)-матриц вероятностей *n*-плетов описывается матричными равенствами с использованием произведения Адамара по аналогии с известной тензорно-матричной теорией цифровых антенных решеток [Slyusar, 1999], называемых также Интеллектуальными Антеннами [Petoukhov, 2022b].

Антенные решетки имеют тысячи приложений: медицинские сканирующие технологии, сонарные системы, радиорелейные станции, радиоастрономические устройства, авионика и пр. С антенными решетками наука связывает революционные изменения в компьютерах (биофотоника) и энергетике на основе использования наноантенных решеток. Антенные решетки состоят из множества отдельных взаимно согласованных антенн, каждая из которых излучает или абсорбирует волны определенного частотного диапазона (Рис. 1).



***Рис. 1***. *Примеры изображений антенных решеток (взяты из Интернета).*
*Fig. 1. Examples of images of antenna arrays (taken from the Internet).*
*如圖。 1. 天線陣列圖片範例（取自網際網路）。*

Антенные решетки имеют замечательные эмерджентные свойства, в силу которых они заполонили мир, им посвящена огромная литература и множество сайтов в Интернете. Они обеспечивают характеристики излучений и приема волн, которые намного превосходят возможное для отдельной антенны, например:

1) В сравнении с отдельной антенной, решетка из N элементов позволяет примерно в N раз увеличить направленность и силу излучения, а также сузить испускаемые лучи;

2) Антенные решетки являются уникальным инструментом для обеспечения помехоустойчивости связи и извлечения слабого сигнала на фоне сильного шума;

3) Фазированные антенные решетки способны оперировать с многолучевыми генерациями и пр.

Учитывая эти эмерджентные свойства антенных решеток и названную алгебраическую аналогию, автор предположил, что эволюция давно использует данные свойства в живых организмах. Но в научной литературе не удалось найти ни одной публикации, которая связывала бы биологические феномены с эмерджентными свойствами антенных решеток. Заполняя данный пробел, автор изучил и выявил множество наследуемых биологических структур, связанных с идеей био-антенных решеток и их волновой деятельности. Совокупность этих материалов составляет содержание **доктрины энерго-информационной эволюции на основе био-антенных решеток** [Petoukhov, 2022b,c; Petoukhov, He, 2023]. Приведем некоторые биологические примеры, напоминая при этом, что в живом электрические и механические колебания тесно связаны, поскольку многие ткани являются пьезоэлектриками, например, нуклеиновые кислоты, актин, дентин, сухожилия, кости.

*Пример №1.* Фасеточные глаза, благодаря которым насекомые и многие другие беспозвоночные получают зрительную информацию и которые служат био-антенными решетками для приема электромагнитных волн (Рис. 2).

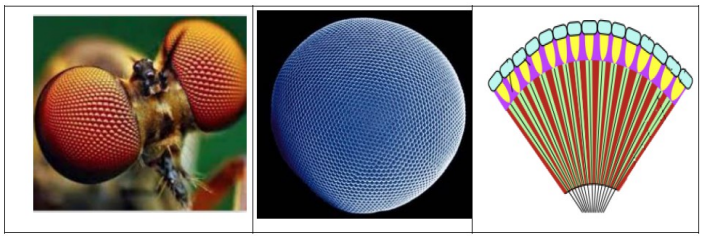


***Рис. 2**. Примеры фасеточных глаз стрекозы и антарктического криля, а также диаграмма фасеточного глаза насекомых (из https://en.wikipedia.org/wiki/File:Dragonfly_eye_3811.jpg, https://en.wikipedia.org/wiki/Compound_eye, https://tftwiki.ru/wiki/Arthropod_eye ).*
*Fig. 2. Examples of the compound eyes of dragonflies and Antarctic krill, as well as a diagram of the compound eyes of insects (from https://en.wikipedia.org/wiki/File:Dragonfly_eye_3811.jpg, https://en.wikipedia.org/wiki/Compound_eye, https://tftwiki.ru/wiki/Arthropod_eye).*
圖 2. 蜻蜓和南極磷蝦複眼範例，以及昆蟲複眼圖（取自 https://en.wikipedia.org/wiki/File:Dragonfly_eye_3811.jpg，*https://en.wikipedia.org/wiki/Compound_eye，https://tftwiki.ru/wiki/Arthropod_eye*）

*Пример №2*. Врожденные способности биолокации, которыми наделены многие организмы и которые используют направленные волновые излучения. Например, дельфины и летучие мыши способны за счет эхолокации определять дистанцию, размеры и форму объектов по аналогии со способностью Интеллектуальных Антенн в технике. Тело дельфина имеет множество гидроакустических рецепторов, образующих многоэлементную широкополосную принимающую антенную систему (Рис. 3).

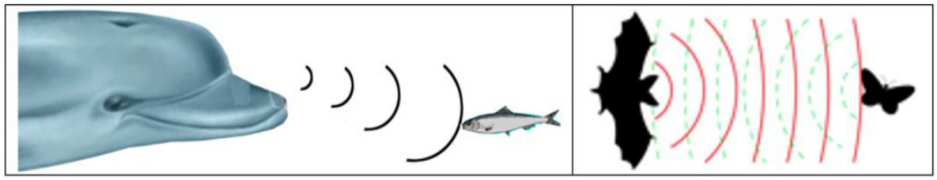


***Рис. 3****. Примеры биологической эхолокации у дельфина и летучей мыши (из https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chiroptera_echolocation.svg).*
*Fig. 3. Examples of biological echolocation in a dolphin and a bat (from https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chiroptera_echolocation.svg).*
*圖 3. 海豚和蝙蝠的生物迴聲定位範例 ( 來自 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chiroptera_echolocation.svg )。*

*Пример №3.* Врожденные способности электролокации с генерацией и приемом электрических полей для решения организмами задач поиска, оценки и взаимных коммуникаций. При этом электрорецепторы распределены по всему телу, образуя аналог антенных решеток (Рис. 4). Эхолокация и электролокация в интеллектуальных действиях организмов свидетельствуют о том, что **био-антенные решетки и их волновая деятельность являются частью природного интеллекта. Развитие теории био-интеллекта должно опираться на знание об**

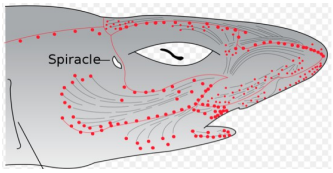



***Рис. 4****. Распределение электрорецепторов, обозначенных красными точками, на голове акулы (рисунок взят из Википедии)*
*Fig. 4. Distribution of electroreceptors, indicated by red dots, on the head of a shark (picture taken from Wikipedia).*
*圖 4. 鯊魚頭部電感受器的分佈（以紅點表示）（圖取自維基百科）*

**антенных решетках (Интеллектуальных Антеннах), которое никогда прежде не связывалось с биологией и био-антенными ансамблями**.

*Пример № 4.* Наследуемые ансамбли фотонных кристаллов, которые, например, образуют видовые узоры из чешуек на крыльях бабочек, перьях павлинов и пр. (Рис. 5). Современная техника использует фотонные кристаллы для управления пространственным распределением фотонных пучков. Они являются периодическими оптическими наноструктурами, воздействующими на движение фотонов и связанными с темой нано-антенных решеток.



***Рис. 5****. Примеры наследуемых узоров из фотонных кристаллов на крыльях бабочек, характерные для разных видов бабочек. Справа показаны фотонно-кристаллические чешуйки, образующие такие узоры (из https://ru.wikipedia.org/wiki/Чешуекрылые)*

*Fig. 5. Examples of inherited patterns of photonic crystals on the wings of butterflies, characteristic of different species of butterflies. Photonic crystal scales forming such patterns are shown on the right (from https://ru.wikipedia.org/wiki/Lepidoptera)*

*圖 5. 蝴蝶翅膀上光子晶體遺傳模式的範例，這是不同蝴蝶物種的特徵。 形成此類圖案的光子晶體鱗片顯示在右側（來自 https://ru.wikipedia.org/wiki/Lepidoptera）*

*Пример № 5.* ДНК, РНК, некоторые белки, а также мембраны и цитоскелеты клеток являются жидкими кристаллами, ансамбли которых также могут рассматриваться как нано-био-антенные решетки. Дополнительно отметим известный факт, что молекулы способны работать антеннами, организующими потоки электромагнитной энергии. Например, ветвистые молекулы дендримеров в статьях часто называются антеннами. Доктрина эволюции на основе био-антенных решеток позволяет использовать свойства Интеллектуальных Антенн и их скоординированных множеств волн для осмысления биологических феноменов, например:

1. Электромагнитные волны био-антенных решеток вовлечены в оперативную передачу и перераспределение энергии между элементами тела с участием пьезо-вибрационных компонент;

2. Для взаимосвязей между элементами организма важен тип поляризации электромагнитных волн в связи с фундаментальной проблемой биологической диссиметрии и молекулярной хиральности, отмеченной Л.Пастером;

3. Уникальные способности антенных решеток обеспечивать многоканальное помехоустойчивое извлечение слабых сигналов на фоне сильных шумов позволяют использовать их для осмысления организма как машины многоканального помехоустойчивого кодирования.

Касательно роли био-антенных решеток в энергетических потоках в организме можно вспомнить о существовании с древних времен идеи об организующей роли энергетических потоков в нем. Эта идея связана, в частности, с древнекитайской верой в существование особой энергии «чи», циркуляция которой ответственна за здоровье и болезни и которая определяет существование энергетических трактов, называемых акупунктурными меридианами. Возможно, что эта мистическая энергия «чи» сопряжена с волновой энергией био-антенных решеток. Описанные материалы об аналогиях между стохастической организацией геномов, ряда наследуемых физиологических структур и Интеллектуальными Антеннами порождают

мысль, что сам генетический код является следствием волновой деятельности и самоорганизации био-антенных решеток. И что этот код сопряжен с другими наследуемыми физиологическими следствиями этой деятельности. С этой точки зрения секрет структурной организации и происхождения генетического кода надо искать не в случайной комбинации молекулярных элементов генетического кода, а в эмерджентных свойствах самоорганизующихся систем био-антенных решеток. Работа антенн основана на механизмах резонансов, в силу чего представленная доктрина сопряжена с авторской концепцией мульти-резонансной генетики [Petoukhov, 2016, 2022e]. Взаимодействие систем на основе антенных излучений и резонансов хорошо поясняет пример дистанционного открывания дверей автомобиля электронным ключом, антенна которого посылает кодовые электромагнитные волны. Разные машины требуют разных волновых кодов, работающих на резонансах. Добавим, что резонансные взаимодействия используют фундаментальный физический принцип минимизации энергии, поскольку при резонансном объединении частей в единый ансамбль каждый элемент требует меньше энергии для своей работы, чем при индивидуальной работе. Автор также отмечает, что универсальные связи рассматриваемых наборов вероятностей *n*-плетов в геномных ДНК можно моделировать формализмами квантовой информатики. При этом описываемые универсальные стохастические системы геномных ДНК представляются как закономерная многоуровневая паутина 2-кубитных состояний [Petoukhov, 2022b]. Тем самым, универсальные правила стохастической организации геномных ДНК оказываются связанными не только с формализмами Интеллектуальных Антенн, но и с квантово-информационными формализмами. В этой двойственной связи заключается важное отличие систем био-антенных решеток от инженерных Интеллектуальных Антенн. Для алгебраического моделирования квантово-подобных особенностей в системах вероятностей геномных ДНК автором введено понятие тензор-унитарных преобразований как операторов, сохраняющих длины векторов при их тензорном преобразовании в векторы пространства повышенной размерности [Petoukhov, 2022c; Petoukhov, He, 2023]. Они являются операторами расширения стохастико-детерминистской памяти с сохранением всей предыдущей памяти.

### *3. Статистические правила последовательностей в геномных ДНК*

Генетическая информация в ДНК записывается последовательностями 4 нуклеотидов: аденина A, гуанина G, цитозина C и тимина T (Рис. 6). ДНК также содержит алфавиты 16 дуплетов, 64 триплетов, 256 тетраплетов, и т.д.

В поиске упущенных – по Йордану – законов вероятностей в живых организмах обратимся к изучению статистических закономерностей в информационных последовательностях однонитевых ДНК геномов высших и низших организмов. Исходные данные об этих ДНК последовательностях содержатся в общедоступном банке генетических данных GenBank

(https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/). Для конкретики обратимся к изучению статистических закономерностей в последовательности нуклеотидов однонитевой ДНК первой хромосомы человека, содержащей около 250 миллионов нуклеотидов (*https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NC_000001.11*). Алфавит 4 нуклеотидов A, G, C, T состоит из двух субалфавитов: пуринов A и G, содержащих два молекулярных кольца и традиционно обозначаемых символом “r”, а также пиримидинов C и T, содержащих одно кольцо и обозначаемых символом “y” (Рис. 6).

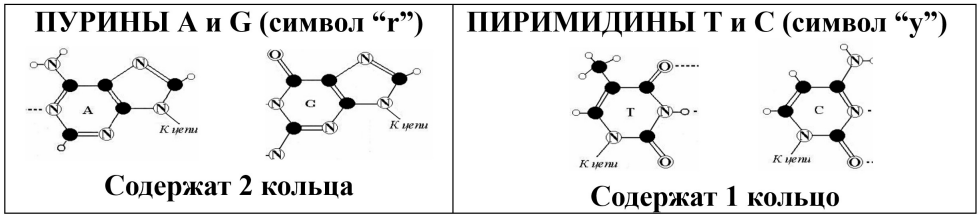



***Рис. 6***. *Изображение молекул пуринов A, G и пиримидинов C, T.*
*Fig. 6. Image of molecules of purines A, G and pyrimidines C, T.*
*圖 6. 嘌呤 A、G 和嘧啶 C、T 分子的圖像。*

Эта хромосомная нить ДНК представима как бинарная последовательность из примерно 250 миллионов пуринов “r” и пиримидинов “y” типа: ryyyrryrryyr… . Исследуем ее процентный состав: - сначала представим ее как последовательность одиночных символов r-y-y-y-r-r-… и подсчитаем в ней проценты %r и %y; - затем представим ее как последовательность дуплетов ry-yy-rr-yr-… и подсчитаем в ней проценты каждого возможного вида дуплетов пуринов и пиримидинов %rr, %ry, %yr, %yy; - затем аналогично представляем ту же бинарную пурин-пиримидиновую последовательность ДНК как последовательность триплетов, тетраплетов, пентаплетов, …, подсчитывая в них каждый раз проценты соответствующих видов *n*-плетов из пуринов и пиримидинов. В результате для ДНК хромосомы человека №1 получаем представленные в Таблице №1 семейства процентов *n*-плетов пуринов “r” и пиримидинов “y” (проценты даны в долях единицы).

**Таблица 1**. Проценты *n*-плетов пуринов “r” и пиримидинов “y” в представлении информационной последовательности ДНК первой хромосомы человека как бинарной последовательности пуринов A, G и пиримидинов C и T (*n* = 1, 2, 3, 4, 5). Проценты даны в долях единицы. Полиплеты, начинающиеся с пуринов (пиримидинов), обозначены красным (синим). Пояснение в тексте.

| %r | %y |
|---|---|
| 0,499745 | 0,500255 |

| %rr | %ry | %yr | %yy |
|---|---|---|---|
| 0,280682 | 0,219000 | 0,219026 | 0,281192 |

| %rrr | %rry | %ryr | %ryy | %yrr | %yry | %yyr | %yyy |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,164628 | 0,1160615 | 0,103115 | 0,116037 | 0,115959 | 0,10310291 | 0,115942 | 0,165155 |

| %rrrr | %rrry | %rryr | %rryy | %ryrr | %ryry | %ryyr | %ryyy |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,097738 | 0,0669275 | 0,05563 | 0,060408 | 0,055506 | 0,04760742 | 0,048985 | 0,066984 |
| %yrrr | %yrry | %yryr | %yryy | %yyrr | %yyry | %yyyr | %yyyy |
| 0,066911 | 0,0490378 | 0,047495 | 0,055562 | 0,060507 | 0,0555435 | 0,066937 | 0,098221 |

| %rrrrr | %rrrry | %rrryr | %rrryy | %rryrr | %rryry | %rryyr | %rryyy |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,058406 | 0,039346 | 0,033114 | 0,033763 | 0,031346 | 0,024265 | 0,026528 | 0,033903 |
| %ryrrr | %ryrry | %ryryr | %ryryy | %ryyrr | %ryyry | %ryyyr | %ryyyy |
| 0,031638 | 0,023907 | 0,023224 | 0,024365 | 0,025092 | 0,023901 | 0,027694 | 0,039302 |
| %yrrrr | %yrrry | %yrryr | %yrryy | %yryrr | %yryry | %yryyr | %yryyy |
| 0,039308 | 0,02757 | 0,022486 | 0,026557 | 0,024177 | 0,023287 | 0,02251 | 0,033136 |
| %yyrrr | %yyrry | %yyryr | %yyryy | %yyyrr | %yyyry | %yyyyr | %yyyyy |
| 0,035361 | 0,025158 | 0,024313 | 0,031213 | 0,035315 | 0,031614 | 0,039299 | 0,058902 |

Данные этой Таблицы показывают неожиданное существование в данной хромосомной ДНК весьма строгой закономерности во всех рассматриваемых семействах *n*-плетов: любые два *n*-плета, имена которых отличаются взаимной заменой в них пуринов и пиримидинов (r ⇔ y), имеют практически равные величины процентов в ней. Например, %ryy = 0,116037…, а %yrr = 0,115959… . Рис. 7 иллюстрирует эту закономерность статистической организации данной хромосомной ДНК в виде диаграмм, левая и правая половины каждой из которых практически зеркально-симметричны. Если r и y обозначить соответственно, как 0 и 1, то очередность следования *n*-плетов в каждом из их семейств в Таблице 1 и на соответствующих диаграммах будет соответствовать упорядоченности членов по возрастанию в диадической группе бинарных чисел (Рис. 7). Например, для семейства 8 триплетов имеем в Таблице 1 и на Рис. 7 упорядоченность rrr, rry, ryr, ryy, yrr, yry, yyr, yyy, то есть 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111.

Кроме того, между представленными в Таблице 1 семействами процентов *n*-плетов пуринов и пиримидинов при разных *n* имеется неожиданная закономерная связь. Она имеет форму высокоточного каскадного двойникования (при изученных значениях $n = 1, 2, 3, 4, 5$): процент любого *n*-плета практически равен сумме процентов таких двух $(n+1)$-плетов, которые отличаются от него наличием суффиксов “r” или “y” (равенство с точностью до 4-го или 5-го знака после запятой).

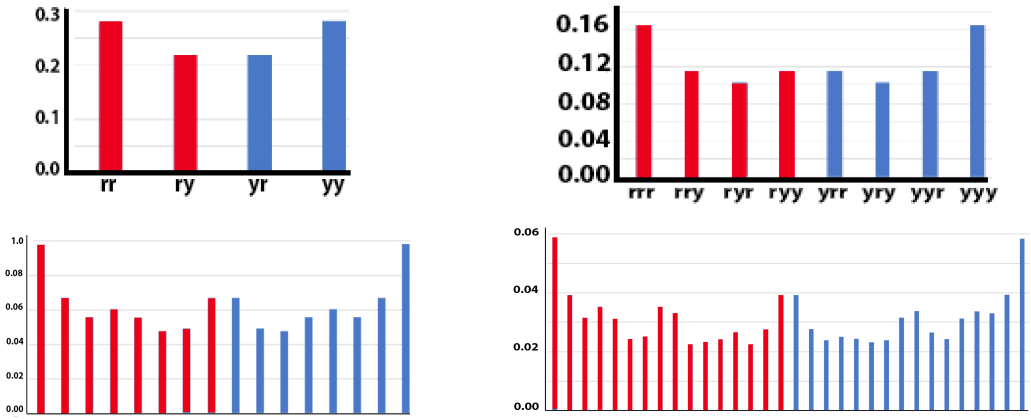



***Рис.*** *7. Диаграммы процентов n-плетов пуринов и пиримидинов в семействах 4 дуплетов, 8 триплетов, 16 тетраплетов и 32 пентаплетов из Таблицы 1. Очередность следования столбцов соответствует очередности следования соответствующих n-плетов в Таблице 1, связанной с диадическими группами бинарных чисел (пояснение в тексте). По оси ординат отложены величины вероятностей, по оси абсцисс – номера следования n-плетов.*

*Fig. 7. Diagrams of the percentage of n-plets of purines and pyrimidines in the families of 4 duplets, 8 triplets, 16 tetraplets and 32 pentaplets from Table 1. The order of the columns corresponds to the order of the corresponding n-plets in Table 1, which are associated with dyadic groups of binary numbers (explanation in text). The ordinate axis shows the probability values, and the abscissa axis shows the sequence numbers of n-plets.*

*圖 7. 表 1 中 4 個雙聯體、8 個三聯體、16 個四聯體和 32 個五聯體家族中嘌呤和嘧啶 n 聯體的百分比圖。列的順序對應於對應 n 聯體的順序表 1 與二進制數的二元組相關（文中解釋）。 縱軸表示機率值，橫軸表示 n 個樣本的序號。*

Эта феноменологическая связь ведет к существованию фрактального дихотомического дерева процентов (Рис. 8), в котором каждый узел является началом своего собственного фрактального дихотомического дерева [Петухов, 2022; Petoukhov, 2023a,b].

Эти статистические правила организации геномных ДНК, представленные на примере ДНК первой хромосомы человека, справедливы также для других исследованных и названных выше геномов высших и низших организмов. Во многом аналогичные результаты для геномных однонитевых ДНК получены также в случае представлений их последовательностей нуклеотидов как бинарных последовательностей кето-молекул и амино-молекул или последовательностей сильных и слабых водородных связей [Petoukhov, 2023].

Дихотомии в биологических телах хорошо известны: бронхиальное дерево легких, ветвления в нейронах и у растений, митоз соматических клеток, и т.д. Но в информатике геномных ДНК в отличие от телесных конструкций мы встречаемся с принципиально иным типом дихотомии: дихотомиями процентных (вероятностных) характеристик в многослойной статистике информационных последовательностей ДНК. Обширные дихотомические

фрактальные сети вероятностей геномных ДНК – это та информационная почва, из которой произрастают живые тела и генетический интеллект. Вещественные дихотомические структуры живых тел возникают не на пустом месте, а имеют структурные прототипы в закономерной бинарной фрактало-подобной системе вероятностей геномной информатики.

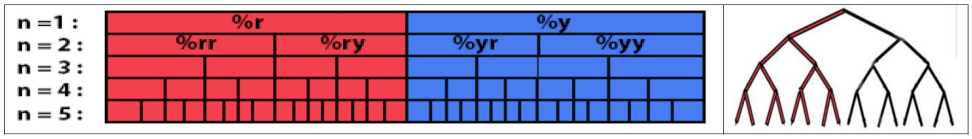



***Рис. 8***. *Диаграмма сравнения процентов n-плетов пуринов и пиримидинов при разных значениях n и соответствующее фрактальное дерево вероятностей (справа). На каждом уровне диаграммы длины интервалов пропорциональны процентным значениям соответствующих n-плетов из Таблицы 1. Видны отношения дихотомии (или двойникования) между длинами соответствующих интервалов на соседних уровнях.*

*Fig. 8. Diagram comparing the percentages of n-plets of purines and pyrimidines for different values of n and the corresponding fractal probability tree (right). At each level, the interval lengths in diagrams are proportional to the percentage values of the corresponding n-plets from Table 1. The dichotomy (or twinning) relationships between the lengths of the corresponding intervals at adjacent levels are visible.*

*圖 8. 比較不同 n 值下嘌呤和嘧啶的 n-plet 百分比以及對應的分形機率樹的圖表（右）。在每個級別，間隔長度圖與表 1 中相應 n 個樣本的百分比值成正比。相鄰級別相應間隔長度之間的二分（或孿生）關係是可見的。*

Выявление универсальных статистических дихотомий в геномах позволяет по-новому осмысливать явления дихотомий в живых телах. Например, почему на протяжении миллиардов лет жизни на Земли бактерии размножаются дихотомическим делением тела на две половины? На какие структурно-энергетические основы опирается этот «вечный» дихотомический феномен размножения бактерий со сложнейшим процессом дихотомического разделения всей дихотомически организованной генетической информации? Автор предлагает следующий ответ: существует скрытый от непосредственного восприятия мир семейств вероятностей, структурированных на основе бинарных оппозиций (типа Инь-Ян). Именно по образу и подобию бинарно организованных семейств вероятностей этого многомерного мира строятся генетически наследуемые биологические тела. Наши тела являются как бы одеждой, надетой на эти бинарно структурированные семейства вероятностей, выступающие их прототипами. Это напоминает древние представления о проявленном и непроявленном мирах и знаменитую аллегорию Платона о мире идей и тенях на стене пещеры, по которым люди, живущие в пещере, могут судить об истинном скрытом мире идей.

### *4. Генетические матрицы вероятностей n-плетов ДНК*

Алфавит 4 нуклеотидов ДНК является системой бинарно-оппозиционных признаков:

1) два из этих нуклеотидов являются пуринами (A и G), а два другие (C и T) – пиримидинами, что дает представление **C = T = 0, A = G = 0**;

2) два из этих нуклеотидов являются кето-молекулами (T и G), а два другие (C и A) – амино-молекулами, что дает представление **C = A = 0, T = G = 1**.

В силу этого ДНК-алфавиты 4 букв, 16 дуплетов и 64 триплетов представляются в форме квадратных таблиц, столбцы которых нумеруются бинарными индикаторами «пиримидин или пурин» (**C = T = 0, A = G = 1**), а строки – бинарными индикаторами «амино или кето» (**C=A=0, T=G=1**). В таких таблицах все буквы, дуплеты и триплеты автоматически занимают строго индивидуальное место (Рис. 9). Эти 3 таблицы являются не просто таблицами, но образуют единое тензорное семейство матриц [Петухов, 2008].

| | 0 | 1 |
|---|---|---|
| 0 | C | A |
| 1 | T | G |

;

| | 00 | 01 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|
| 00 | CC | CA | AC | AA |
| 01 | CT | CG | AT | AG |
| 10 | TC | TA | GC | GA |
| 11 | TT | TG | GT | GG |

| | 000 | 001 | 010 | 011 | 100 | 101 | 110 | 111 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 000 | CCC | CCA | CAC | CAA | ACC | ACA | AAC | AAA |
| 001 | CCT | CCG | CAT | CAG | ACT | ACG | AAT | AAG |
| 010 | CTC | CTA | CGC | CGA | ATC | ATA | AGC | AGA |
| 011 | CTT | CTG | CGT | CGG | ATT | ATG | AGT | AGG |
| 100 | TCC | TCA | TAC | TAA | GCC | GCA | GAC | GAA |
| 101 | TCT | TCG | TAT | TAG | GCT | GCG | GAT | GAG |
| 110 | TTC | TTA | TGC | TGA | GTC | GTA | GGC | GGA |
| 111 | TTT | TTG | TGT | TGG | GTT | GTG | GGT | GGG |

***Рис. 9**. Генетические матрицы 4 нуклеотидов, 16 дуплетов и 64 триплетов.*
*Fig. 9. Genetic matrices for 4 nucleotides, 16 duplets and 64 triplets.*
*圖 9. 4 個核苷酸、16 個雙聯體和 64 個三聯體的遺傳模板。*

Как же в этой алгоритмически заданной матрице 64 триплетов расположены кодируемые ими 20 аминокислот и стоп-сигналы белкового синтеза? Это расположение нельзя предсказать, поскольку аминокислоты и нуклеотиды A, C, G, T совершенно различны по строению. Число вариантов расположения аминокислот с их какими-то повторениями для заполнения всей (8*8)-матрицы необозримо: $>>10^{100}$ (для сравнения в физике время существования Вселенной оценивается в $10^{17}$ секунд).

Будет ли это расположение аминокислот хаотичным или вдруг окажется закономерно симметричным? Оказывается, что из океана возможностей природа выбрала алгебраически закономерный вариант повторения и расположения аминокислот и стоп-сигналов в этой матрице 64 триплетов, показанный на Рис. 10: данная матрица состоит из пар соседних строк, идентичных по составу аминокислот и стоп-кодонов [Петухов, 2008; Petoukhov, He, 2023]. Эта тензорно-матричная закономерность является одним из свидетельств глубокой связи генетического кодирования с формализмами квантовой информатики.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CCC<br>Pro | CCA<br>Pro | CAC<br>His | CAA<br>Gln | ACC<br>Thr | ACA<br>Thr | AAC<br>Asn | AAA<br>Lys |
| CCT<br>Pro | CCG<br>Pro | CAT<br>His | CAG<br>Gln | ACT<br>Thr | ACG<br>Thr | AAT<br>Asn | AAG<br>Lys |
| CTC<br>Leu | CTA<br>Leu | CGC<br>Arg | CGA<br>Arg | ATC<br>Ile | ATA<br>Met | AGC<br>Ser | AGA<br>Stop |
| CTT<br>Leu | CTG<br>Leu | CGT<br>Arg | CGG<br>Arg | ATT<br>Ile | ATG<br>Met | AGT<br>Ser | AGG<br>Stop |
| TCC<br>Ser | TCA<br>Ser | TAC<br>Tyr | TAA<br>Stop | GCC<br>Ala | GCA<br>Ala | GAC<br>Asp | GAA<br>Asp |
| TCT<br>Ser | TCG<br>Ser | TAT<br>Tyr | TAG<br>Stop | GCT<br>Ala | GCG<br>Ala | GAT<br>Asp | GAG<br>Asp |
| TTC<br>Phe | TTA<br>Leu | TGC<br>Cys | TGA<br>Trp | GTC<br>Val | GTA<br>Val | GGC<br>Gly | GGA<br>Gly |
| TTT<br>Phe | TTG<br>Leu | TGT<br>Cys | TGG<br>Trp | GTT<br>Val | GTG<br>Val | GGT<br>Gly | GGG<br>Gly |

***Рис. 10***. *Генетическая матрица 64 триплетов из Рис. 9 и кодируемых ими аминокислот и стоп-кодонов для случая генетического кода митохондрий позвоночных, который считается наиболее древним и симметричным среди всех диалектов генетического кода.*

*Fig. 10. Genetic matrix of 64 triplets (from Fig. 9) and the amino acids and stop codons they encode for the case of the genetic code of vertebrate mitochondria, which is considered the most ancient and symmetrical among all dialects of the genetic code.*

*圖 10. 64 個三聯體的遺傳矩陣以及它們編碼的脊椎動物線粒體遺傳密碼的氨基酸和終止密碼子，線粒體遺傳密碼被認為是所有方言中最古老和對稱的遺傳密碼。*

В двойной спирали ДНК комплементарные (т.е. стоящие напротив друг друга) нуклеотиды A и T соединены 2 водородными связями, а нуклеотиды C и G соединены 3 водородными связями, что дает представление A=T=2 и C=G=3. В связи с этим любой *n*-плет может быть представлен в виде, при котором каждый его нуклеотид заменяется соответствующей ему цифрой 2 или 3. Например, в этом случае символьный триплет CAT представляется в виде цифрового триплета 322, и все матрицы символьных *n*-плетов на Рис. 9 становятся матрицами соответствующих цифровых *n*-плетов [Petoukhov, 2023a,b]. Можно также в матрицах Рис. 9 представить каждый символьный триплет водородных связей как процент (вероятность) его реализации в *n*-плетном представлении рассматриваемой ДНК. Тогда алгоритмические матрицы на Рис. 9 становятся алгоритмическими матрицами вероятностей *n*-плетов водородных связей в этой ДНК (Рис. 11).

Эти матрицы являются матричными представлениями 2-, 4- и 8-мерных гиперболических чисел, что выявляется диадо-сдвиговой декомпозицией каждой из них на набор разреженных матриц, замкнутый относительно умножения и определяющий таблицу умножения базисных элементов соответствующей алгебры [Петухов, 2008; Petoukhov, He, 2023].

| %3 | %2 |
|---|---|
| %2 | %3 |

| %33 | %32 | %23 | %22 |
|---|---|---|---|
| %32 | %33 | %22 | %23 |
| %23 | %22 | %33 | %32 |
| %22 | %23 | %32 | %33 |

| %333 | %332 | %323 | %322 | %233 | %232 | %223 | %222 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| %332 | %333 | %322 | %323 | %232 | %233 | %222 | %223 |
| %323 | %322 | %333 | %332 | %223 | %222 | %233 | %232 |
| %322 | %323 | %332 | %333 | %222 | %223 | %232 | %233 |
| %233 | %232 | %223 | %222 | %333 | %332 | %323 | %322 |
| %232 | %233 | %222 | %223 | %332 | %333 | %322 | %323 |
| %223 | %222 | %233 | %232 | %323 | %322 | %333 | %332 |
| %222 | %223 | %232 | %233 | %322 | %323 | %332 | %333 |

***Рис. 11***. *Матрицы вероятностей моноплетов, дуплетов и триплетов водородных связей в рассматриваемой ДНК.*
*Fig. 11. Probability matrices of monoplets, duplets and triplets of hydrogen bonds in the DNA under consideration.*
*圖 11. 所考慮的 DNA 中氫鍵單聯體、雙聯體和三聯體的機率矩陣。*

Например, Рис. 12 показывает декомпозицию (2*2)-матрицы из Рис. 11 на две разреженные матрицы $e_0$ и $e_1$, набор которых замкнут по умножению и определяет таблицу умножения алгебры 2-мерных гиперболических чисел x+jy, где x и y являются действительными числами, а j – мнимая единица гиперболических чисел, удовлетворяющая условия $j^2 = +1$. Соответственно, рассматриваемая матрица является матричным представлением 2-мерного гиперболического числа %3+%2*j.

$$\begin{vmatrix} \%3, \%2 \\ \%2, \%3 \end{vmatrix} = \%3* \begin{vmatrix} 1, 0 \\ 0, 1 \end{vmatrix} + \%2* \begin{vmatrix} 0, 1 \\ 1, 1 \end{vmatrix} = \%3*e_0 + \%2*e_1 ;$$

| * | $e_0$ | $e_1$ |
|---|---|---|
| $e_0$ | $e_0$ | $e_1$ |
| $e_1$ | $e_1$ | $e_0$ |

***Рис. 12***. *Декомпозиция (2*2)-матрицы вероятностей водородных связей из Рис. 11 на две разреженных матрицы, определяющих таблицу умножения алгебры 2-мерных гиперболических чисел (справа).*
*Fig. 12. Decomposition of the (2*2) matrix of hydrogen bond probabilities from Fig. 11 into two sparse matrices defining the multiplication table of the algebra of 2-dimensional hyperbolic numbers (right).*
*圖 12. 將（2*2）氫鍵機率矩陣分解為兩個稀疏矩陣，定義二維雙曲數代數乘法表（右）。*

Гиперболические числа связаны с гиперболической геометрией Лобачевского, с которой согласно публикациям многих авторов сопряжены структуры многих физиологических систем [Боднар, 1992; Смолянинов, 2000; Ghaninia et al., 2022; Zhang et al., 2023; Zhou, Sharpee, 2021; Zhou, Smith, Sharpee, 2018], релятивистские биосолитоны синус-Гордона [Петухов, 1999], теория автоморфных функций Пуанкаре и помехоустойчивого кодирования [Preskill, 2016], глубокие нейросети для искусственного интеллекта (см. обзор [Peng et al., 2022]) и др. Обнаружение связи генетического кодирования с $2^n$-мерными гиперболическими числами открывает новые возможности для осмысления и моделирования генетических явлений и взаимного обогащения генетики и названных наук. Помимо этого, данная связь позволяет ставить задачу паспортизации ДНК всех генов и геномов на основе этих многомерных

чисел для сравнительного анализа разных ДНК средствами векторно-метрического анализа.

Генетические матрицы вероятностей *n*-плетов в ДНК являются бисимметричными и имеют собственные числа, собственные вектора и характеристические полиномы. Эти полиномы сближают алгебраическую генетику с алгебраической геометрией, которая является одной из центральных ветвей математики и фокусируется на полиномиальных функциях [Petoukhov, 2023a,b].

### *5. Некоторые заключительные замечания*

Со времен философских работ Мартина Хайдеггера существует представле-ние о том, что язык умнее нас. Представленные выше и другие результаты получены автором на основе использования языка матрично-тензорного анализа, являющегося одной из основ современного математического естествознания. Получив первые подтверждения адекватности этого языка для моделирования системы генетического кодирования, автор начал использовать его богатые возможности в новой научной области, то есть в матричной генетике и алгебраической биологии, руководствуясь внутренними особенностями этого алгебраического языка и получая – благодаря ему - новые и новые биологические результаты [Петухов, 2008; 2023b; Petoukhov, He, 2023]. Иными словами, генетические структуры переводятся автором на этот алгебраический язык с получением в конечном итоге совершенно новых биологических смыслов и универсальных закономерностей. В частности, представленные выше универсальные правила дихотомий и фракталов вероятностей в информационных последовательностях геномных ДНК дают новые материалы для осмысления генетических основ наследуемых телесных дихотомий и фракталов в организмах. Они позволяют думать о существовании скрытого мира бинарных квазистохастических сущностей, которые являются прародителями биоструктур и, возможно, сопряжены с конденсатом Бозе-Эйнштейна и теориями квантовомеханических дальнодействующих связей в живом. Они также расширяют знания о фундаментальном значении древнего принципа «*подобное порождает подобно*е» для разных уровней биологической организации, а также открывают новые подходы для понимания и моделирования генетического интеллекта [Petoukhov, 2023b; Petoukhov, He, 2023].

Автор благодарен всем коллегам, которые на протяжении многих лет содействовали в развитии исследований по генетической биомеханике и алгебраической биологии. Особенную признательность автор выражает В.И.Свирину, компьютерные программы которого активно использовались в этих исследованиях и в соавторстве с которым опубликован ряд материалов.

## *1. Introduction*

Living organisms are endowed with innate intellectual abilities for searching for food, escaping from predators, mating, and building (webs of spiders, honeycombs of bees, complex nests of weaver birds, etc.). Of particular interest is genetic intelligence, by which we understand that part of the intellectual potential of living organisms, which allows, on the basis of genetic information in DNA and RNA molecules, to build, for example, from one fertilized cell an organism with trillions of cells. At the same time, in such a structured organism, parental characteristics are reproduced in a multi-channel, noise-resistant manner, despite strong noise and constantly changing nutritional conditions and external influences throughout life. The functional characteristics of the genetic system are striking. For example, the speed of replication (reading the "text") of a DNA strand in the bacterium Esherichia coli is over 1000 nucleotides per second [Bank, 2022] (it was the surprise at the speed of "genetic automata" that led the outstanding mathematician Yu.I. Manin to the pioneering idea of quantum computers [Manin, 1980]). Enzymes in living bodies work millions of times more efficiently than the best catalysts in laboratories: what an enzyme does in a living body in 1 second, a catalyst in a laboratory can do only in 100 thousand years. When creating artificial intelligence systems, one should look at the algorithms and universal structures of genetic inheritance from living nature. The article is devoted to some results of such peeping through the prism of algebra. In studies of the living, one should remember **the key difference between living bodies and inanimate ones**, which was pointed out by the creators of quantum mechanics P. Jordan and E. Schrödinger: inanimate objects are controlled by the average random movement of their millions of particles and the movement of individual particles is not significant for the whole; on the contrary, in a living organism, selected – genetic – molecules have a dictatorial influence on the entire organism due to quantum enhancement (see the history of "quantum biology" [McFadden, Al-Khalili, 2018]). In accordance with this, to reveal the secrets and patents of living nature, it is necessary to study the laws of DNA informatics. The purpose of the article is to present the author's results of such a study. Genetics as a science began with Mendel's discovery of the rules of stochastic (probabilistic) inheritance of traits in experiments on crossing organisms. Many processes in living bodies are stochastic. Even genetically identical cells in the same tissue have different levels of protein expression, different sizes and structures due to the stochastic nature of the interaction of individual molecules in cells. The statistical nature of the inheritance of traits in the "small" is radically different from the deterministic inheritance of traits in the "big" (the topic of Gestalt biology). For example, the fingerprints of all people are different, despite the fact that the fingers as a whole are determined in shape and structure (3 phalanges, etc.). Thus, biological phenomena are associated with the dualism "stochastics-determinism", the study of which can lead to the construction of artificial intelligence of the genomorphic type, as well as contribute to the genetic

engineering of new materials, biomedical technologies, personal genetics, etc.

According to Mendel's law of independent inheritance of traits, information from the level of DNA molecules dictates the macrostructure of living bodies through many independent channels despite strong noise. For example, hair, eye and skin colors are inherited independently of each other. Accordingly, each **organism is a multi-channel noise-immunity coding machine**.

The author of the first publication on quantum biology, P. Jordan, argued that the laws of living organisms missed by science are laws of probability [McFadden, Al-Khalili, 2018]. This article presents some of the universal rules discovered by the author for the stochastic organization of DNA in the genomes of higher and lower organisms. These results led to the author's doctrine of energy-information evolution based on bio-antenna arrays, and also to the identification of a deep connection between DNA-informatics and the formalisms of quantum information science and algebras of $2^n$-dimensional hyperbolic numbers in connection with algebra-biological approaches to artificial intelligence [ Petoukhov, 2021, 2022a-d, 2023; Petoukhov, He, 2010, 2023]. Let's move on to presenting the results obtained.

## *2. Regarding bio-antenna arrays and their participation in the evolution of living bodies*

Information sequences of nucleotides in single-stranded DNAs of genomes of higher and lower organisms have general statistical patterns that are candidates for the role of universal genetic rules of biological evolution [Petoukhov, 2022b; Petoukhov, He, 2023]. These DNA n-plet probability rules were identified by the author when analyzing a variety of genomic DNA from the genetic data bank GenBank, including the following: 1) all 24 human chromosomes; 2) all chromosomes of Drosophila, mouse, worm, many plants; 3) 19 genomes of bacteria and archaea; 4) many extremophiles living in extreme conditions, for example, radiation with a level 1000 times higher than lethal for humans.

During the analysis of these universal rules, the author drew attention to the fact that in each specific genomic DNA, the relationship between the corresponding $(2^n*2^n)$-matrices of n-plet probabilities is described by matrix equalities using the Hadamard product by analogy with the known tensor-matrix theory of digital antenna arrays [Slyusar, 1999], which are also called Intelligent Antennas [Petoukhov, 2022b].

Antenna arrays have thousands of applications in modern technics: medical scanning technologies, sonar systems, radio relay stations, radio astronomy devices, avionics, etc. Science awaits revolutionary changes in computers (biophotonics) and solar energetics with nanoantenna arrays. Antenna arrays consist of many individual, mutually matched antennas, each of which emits or absorbs waves of a specific frequency range (Fig. 1).

Antenna arrays have remarkable emergent properties, due to which they have

captivated the world; a huge literature and many Internet sites are devoted to them. They provide wave emission and reception characteristics that far exceed what is possible with a single antenna, for example:

1) Compared to a separate antenna, an array of N elements makes it possible to increase the directivity and strength of radiation approximately N times, as well as narrow the emitted rays;

2) Antenna arrays are a unique tool for ensuring noise immunity of communications and extracting a weak signal against a background of strong noise;

3) Phased array antennas are capable of operating with multi-beam generation, etc.

Taking into account these emergent properties of antenna arrays and the mentioned algebraic analogy, the author suggested that evolution has long been using these properties in living organisms. But in the scientific literature it was not possible to find a single publication that would connect biological phenomena with the emergent properties of antenna arrays. Filling this gap, the author has studied and identified many inherited biological structures associated with the idea of bio-antenna arrays and their wave activity. The totality of these materials constitutes the content of the doctrine of energy-information evolution based on bio-antenna arrays [Petoukhov, 2022b-d; Petoukhov, He, 2023]. Let us give some biological examples, recalling that in living things electrical and mechanical vibrations are closely related, since many tissues are piezoelectric, for example, nucleic acids, actin, dentin, tendons, bones.

**Example No. 1**. Compounded eyes, through which insects and many other invertebrates receive visual information and which serve as bio-antenna arrays for receiving electromagnetic waves (Fig. 2).

**Example No. 2**. Innate dowsing abilities, which many organisms are endowed with and which use directed wave radiation. For example, dolphins and bats are able to use echolocation to determine the distance, size and shape of objects, similar to the ability of Intelligent Antennas in technology. The dolphin's body has many hydroacoustic receptors, forming a multi-element broadband receiving antenna system (Fig. 3).

**Example No. 3**. Innate abilities of electrolocation with the generation and reception of electric fields by organisms to solve problems of search, evaluation and mutual communications. In this case, electroreceptors are distributed throughout the body, forming an analogue of antenna arrays (Fig. 4).

Echolocation and electrolocation in the intelligent actions of organisms indicate that **bio-antenna arrays and their wave activity are part of biological intelligence. The development of the theory of bio-intelligence must be based on knowledge about antenna arrays (Intelligent Antennas), which has never before been associated with biology and bio-antenna ensembles**.

Example No. 4. Inherited ensembles of photonic crystals, which, for example,

form specific patterns of scales on the wings of butterflies, the feathers of peacocks, etc. (Fig. 5). Modern technology uses photonic crystals to control the spatial distribution of photon beams. They are periodic optical nanostructures that affect the motion of photons and are related to the topic of nano-antenna arrays.

**Example No. 5**. DNA, RNA, some proteins, as well as membranes and cytoskeletons of cells are liquid crystals, the ensembles of which can also be considered as nano-bio-antenna arrays. Additionally, we note the well-known fact that individual molecules are capable of acting as antennas that organize flows of electromagnetic energy. For example, branched dendrimer molecules are often called antennas in articles.

The doctrine of evolution based on bio-antenna arrays makes it possible to use the properties of Intelligent Antennas and their coordinated sets of waves to understand biological phenomena, for example:

1. Electromagnetic waves of bio-antenna arrays are involved in the operational transmission and redistribution of energy between body elements with the participation of piezo-vibration components;

2. For the relationships between the elements of the body, the type of polarization of electromagnetic waves is important in connection with the fundamental problem of biological dissymmetry and molecular chirality, noted by L. Pasteur;

3) The unique ability of antenna arrays to provide multi-channel noise-resistant extraction of weak signals against a background of strong noise allows them to be used to understand the body as a multi-channel noise-immunity coding machine.

Regarding the role of bio-antenna arrays in energy flows in the body, we can recall the existence since ancient times of the idea of the organizing role of energy flows in it. This idea is associated, in particular, with the ancient Chinese belief in the existence of a special energy "chi", the circulation of which is responsible for health and disease and which determines the existence of energy tracts called acupuncture meridians. It is possible that this mystical chi energy is associated with the wave energy of bio-antenna arrays.

The described materials about the analogies between the stochastic organization of genomes, a number of inherited physiological structures and Intelligent Antennas give rise to the idea that the genetic code itself is a consequence of wave activity and self-organization of bio-antenna arrays. And that this code is associated with other heritable physiological consequences of this activity. From this point of view, the secret of the structural organization and origin of the genetic code should be sought not in a random combination of molecular elements of the genetic code, but in the emergent properties of self-organizing systems of bio-antenna arrays. The operation of antennas is based on resonance mechanisms, due to which the presented doctrine is associated with the author’s concept of multi-resonance genetics [Petoukhov, 2016]. The interaction of systems based on antenna radiation and resonances is well

illustrated by the example of remotely opening car doors using an electronic key, the antenna of which sends coded electromagnetic waves. Different machines require different wave codes operating on resonances. Let us add that resonant interactions use the fundamental physical principle of energy minimization, since when parts are resonantly combined into a single ensemble, each element requires less energy for its operation than when operating individually.

The author also notes that the universal connections of the considered sets of n-plet probabilities in genomic DNAs can be modeled using the formalisms of quantum information science. In this case, the described universal stochastic systems of genomic DNAs are represented as a regular multi-level web of 2-qubit states [Petoukhov, 2022b; Petoukhov, He, 2023]. Thus, the universal rules of the stochastic organization of genomic DNAs turn out to be associated not only with the formalisms of Intelligent Antennas, but also with quantum information formalisms. This dual relationship is an important difference between bio-antenna array systems and engineered Intelligent Antennas.

For algebraic modeling of quantum-like features in probability systems of genomic DNA, the author introduced the concept of tensor-unitary transformations as operators that preserve the lengths of vectors during their tensor transformation into space vectors of increased dimensionality [Petoukhov, 2022c; Petoukhov, He, 2023]. They are operators for expanding stochastic-deterministic memory while preserving all previous memory.

### *3. Statistical rules for sequences in genomic DNAs*

Genetic information in DNA is written in sequences of 4 nucleotides: adenine A, guanine G, cytosine C and thymine T (Fig. 6). DNA also contains alphabets of 16 duplets, 64 triplets, 256 tetraplets, etc.

In search of the missing - according to Jordan - laws of probability in living organisms, let us turn to the study of statistical patterns in the information sequences of single-stranded DNAs of genomes of higher and lower organisms. Initial data on these DNA sequences are contained in the publicly available genetic data bank GenBank (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/). For example, let us turn to the study of statistical patterns in the nucleotide sequence of single-stranded DNA of the first human chromosome, containing about 250 million nucleotides (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NC_000001.11). The alphabet of 4 nucleotides A, G, C, T consists of two sub-alphabets: purines A and G, containing two molecular rings and traditionally designated by the symbol “r”, as well as pyrimidines C and T, containing one ring and designated by the symbol “y” (Fig. 6).

This DNA chromosomal strand can be represented as a binary sequence of approximately 250 million “r” purines and “y” pyrimidines of the type: ryyyrryrryyr… . Let's examine its percentage composition:

- first, let's imagine it as a sequence of single symbols r-y-y-y-r-r-… and

calculate the percentages %r and %y;

- then imagine it as a sequence of duplets ry-yy-rr-yr-... and calculate the percentages of each possible type of duplets of purines and pyrimidines %rr, %ry, %yr, %yy;

- then we similarly represent the same binary purine-pyrimidine sequence as a sequence of triplets, tetraplets, pentaplets, ..., each time counting the percentages of the corresponding types of n-plets from purines and pyrimidines. As a result, for the DNA of human chromosome No. 1, we obtain the families of percentages of n-plets of purines "r" and pyrimidines "y" presented in Table No. 1. n-plets starting with purines (pyrimidines) are indicated in red (blue).

**Table 1**. Percentages of n-plets of purines "r" and pyrimidines "y" in the representation of the DNA information sequence of the first human chromosome as a binary sequence of purines A, G and pyrimidines C and T (n = 1, 2, 3, 4, 5). Percentages are given in fractions of one; n-plets starting with purines (pyrimidines) are indicated in red (blue). Explanation in the text.

| %r | %y |
|---|---|
| 0,499745 | 0,500255 |

| %rr | %ry | %yr | %yy |
|---|---|---|---|
| 0,280682 | 0,219000 | 0,219026 | 0,281192 |

| %rrr | %rry | %ryr | %ryy | %yrr | %yry | %yyr | %yyy |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,164628 | 0,1160615 | 0,103115 | 0,116037 | 0,115959 | 0,10310291 | 0,115942 | 0,165155 |

| %rrrr | %rrry | %rryr | %rryy | %ryrr | %ryry | %ryyr | %ryyy |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,097738 | 0,0669275 | 0,05563 | 0,060408 | 0,055506 | 0,04760742 | 0,048985 | 0,066984 |
| %yrrr | %yrry | %yryr | %yryy | %yyrr | %yyry | %yyyr | %yyyy |
| 0,066911 | 0,0490378 | 0,047495 | 0,055562 | 0,060507 | 0,0555435 | 0,066937 | 0,098221 |

| %rrrrr | %rrrry | %rrryr | %rrryy | %rryrr | %rryry | %rryyr | %rryyy |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,058406 | 0,039346 | 0,033114 | 0,033763 | 0,031346 | 0,024265 | 0,026528 | 0,033903 |
| %ryrrr | %ryrry | %ryryr | %ryryy | %ryyrr | %ryyry | %ryyyr | %ryyyy |
| 0,031638 | 0,023907 | 0,023224 | 0,024365 | 0,025092 | 0,023901 | 0,027694 | 0,039302 |
| %yrrrr | %yrrry | %yrryr | %yrryy | %yryrr | %yryry | %yryyr | %yryyy |
| 0,039308 | 0,02757 | 0,022486 | 0,026557 | 0,024177 | 0,023287 | 0,02251 | 0,033136 |
| %yyrrr | %yyrry | %yyryr | %yyryy | %yyyrr | %yyyry | %yyyyr | %yyyyy |
| 0,035361 | 0,025158 | 0,024313 | 0,031213 | 0,035315 | 0,031614 | 0,039299 | 0,058902 |

The data in this Table show the unexpected existence of a very strict pattern in a given chromosomal DNA in all the n-plet families under consideration: any two n-plets, whose names differ in the mutual replacement of purines and pyrimidines in them (r ⇔ y) and %yrr = 0.115959….

Fig. 7 illustrates this pattern of statistical organization of the chromosomal DNA

in the form of diagrams, the left and right halves of each of which are almost mirror-symmetrical. If r and y are designated as 0 and 1, respectively, then the order of n-plets in each of their families in Table 1 and on the corresponding diagrams will correspond to the ordering of members in ascending order in the dyadic group of binary numbers (Fig. 7). For example, for a family of 8 triplets we have in Table 1 and Fig. 7 ordering rrr, rry, ryr, ryy, yrr, yry, yyr, yyy, that is, 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111.

In addition, there is an unexpected regular connection between the families of percentages of n-plets of purines and pyrimidines presented in Table 1 at different n. It has the form of high-precision cascade twinning (for the studied values of n = 1, 2, 3, 4, 5): the percentage of any n-plet is practically equal to the sum of the percentages of two (n+1)-plets that differ from it by the presence of the suffixes “r ” or “y” (equality accurate to the 4th or 5th decimal place). This phenomenological connection leads to the existence of a fractal dichotomous tree of percentages (Fig. 8), in which each node is the beginning of its own fractal dichotomous tree [Petoukhov, 2022; Petoukhov, 2023a,b].

These statistical rules for the organization of genomic DNA, presented by the example of the DNA of the first human chromosome, are also valid for DNAs of other genomes of higher and lower organisms studied and named above. In many ways, similar results for genomic single-stranded DNA were also obtained in the case of representations of their nucleotide sequences as binary sequences of keto molecules and amino molecules or binary sequences of strong and weak hydrogen bonds [Petoukhov, 2023].

The dichotomies in biological bodies are well known: the bronchial tree of the lungs, branching in neurons and plants, mitosis of somatic cells, etc. But in the informatics of genomic DNAs, in contrast to bodily structures, we encounter a fundamentally different type of dichotomy: dichotomies of percentage (probabilistic) characteristics in multilayer statistics of DNA information sequences. Vast dichotomous fractal networks of genomic DNAs probabilities are the informational soil from which living bodies and genetic intelligence grow. The material dichotomous structures of living bodies do not arise out of nowhere, but have structural prototypes in the natural binary fractal-like probability system of genomic informatics.

The identification of universal statistical dichotomies in genomic DNAs allows us to understand in a new way the phenomena of dichotomies in living bodies. For example, why, over billions of years of life on Earth, do bacteria reproduce by dichotomously dividing the body into two halves? What structural and energetic foundations does this “eternal” dichotomous phenomenon of bacterial reproduction with the most complex process of dichotomous separation of all dichotomously organized genetic information rely on? The author offers the following answer: there is a world of families of probabilities, hidden from direct perception, structured on

the basis of binary oppositions (Yin-Yang type). It is in the image and likeness of binary organized families of probabilities of this multidimensional world that genetically inherited biological bodies are built. Our bodies are like clothes put on these binary structured families of probabilities, which act as their prototypes. This is reminiscent of the ancient ideas about the manifest and unmanifest worlds and Plato's famous allegory about the world of ideas and the shadows on the wall of a cave, by which people living in the cave can judge the true hidden world of ideas.

### *4. Genetic matrices of DNA n-plet probabilities*

The alphabet of 4 nucleotides of DNA is a system of binary oppositional features:

1) two of these nucleotides are purines (A and G), and the other two (C and T) are pyrimidines, which gives the representation **C** = **T** = **0**, **A** = **G** = **0**;

2) two of these nucleotides are keto molecules (T and G), and the other two (C and A) are amino molecules, which gives the representation **C** = **A** = **0**, **T** = **G** = **1**.

Because of this, DNA alphabets of 4 letters, 16 duplets and 64 triplets are presented in the form of square tables, the columns of which are numbered with binary indicators “pyrimidine or purine” (**C** = **T** = **0**, **A** = **G** = **0**), and the rows - with binary indicators “ amino or keto" (**C** = **A** = **0**, **T** = **G** = **1**). In such tables, all letters, duplets and triplets automatically occupy a strictly individual place (Fig. 9). These 3 tables are not just tables, but form a single tensor family of matrices [Petoukhov, 2008].

How are the 20 amino acids and stop signals of protein synthesis encoded by them located in this algorithmically constructed matrix of 64 triplets? This arrangement cannot be predicted, since the amino acids and nucleotides A, C, G, T are completely different in structure. The number of options for the arrangement of amino acids with their repetitions to fill the entire (8*8) matrix is huge: $>>10^{100}$ (for comparison, in physics, the lifetime of the Universe is estimated at $10^{17}$ seconds). Will this arrangement of amino acids be chaotic or will it suddenly turn out to be regular symmetrical? It turns out that from the ocean of possibilities, Nature chose an algebraically regular variant of the repetition and arrangement of amino acids and stop signals in this matrix of 64 triplets, shown in Fig. 10: this matrix consists of pairs of adjacent rows, identical in composition of amino acids and stop codons [Petoukhov, 2008; Petoukhov, He, 2023]. This tensor-matrix pattern is one of the evidence of the deep connection of genetic coding with the formalisms of quantum information science.

In the DNA double helix, complementary (i.e., opposite each other) nucleotides A and T are connected by 2 hydrogen bonds, and nucleotides C and G are connected by 3 hydrogen bonds, which gives the representation A=T=2 and C=G=3. In this regard, any n-plet can be represented in the form in which each of its nucleotides is replaced by the corresponding number 2 or 3. For example, in this case, the symbolic

triplet CAT is represented as a digital triplet 322, and all matrices of symbolic n-plets on Fig. 9 become matrices of the corresponding digital n-plets [Petoukhov, 2023a,b]. It is also possible in the matrices Fig. 9 represent each symbolic triplet of hydrogen bonds as a percentage (probability) of its implementation in the n-plet representation of the DNA in question. Then the algorithmic matrices in Fig. 9 become algorithmic matrices of the probabilities of n-plet hydrogen bonds in this DNA (Fig. 11).

These matrices are matrix representations of 2-, 4- and 8-dimensional hyperbolic numbers, which is revealed by the dyadic-shift decomposition of each of them into a set of sparse matrices, closed under multiplication and defining the multiplication table of the basic elements of the corresponding algebra [Petoukhov, 2008; Petoukhov, He, 2023]. For example, Fig. 12 shows the decomposition of the (2*2)-matrix from Fig. 11 into two sparse matrices $e_0$ and $e_1$, the set of which is closed by multiplication and defines the multiplication table of the algebra of 2-dimensional hyperbolic numbers x+jy, where x and y are real numbers, and j is the imaginary unit of hyperbolic numbers, satisfying the condition j2 = +1. Accordingly, the matrix in question is a matrix representation of the 2-dimensional hyperbolic number %3+ %2*j.

Hyperbolic numbers are associated with Lobachevsky's hyperbolic geometry, which, according to the publications of many authors, is associated with the following: the structures of many physiological systems [Bodnar, 1992; Smolyaninov, 2000; Ghaninia et al., 2022; Zhang et al., 2023; Zhou, Sharpee, 2021; Zhou, Smith, Sharpee, 2018], relativistic sine-Gordon biosolitons [Petoukhov, 1999], the theory of automorphic Poincaré functions and noise-resistant coding [Preskill, 2016], deep neural networks for artificial intelligence (see review [Peng et al., 2022] ) etc. The discovery of a connection between genetic coding and $2^n$-dimensional hyperbolic numbers opens up new opportunities for understanding and modeling genetic phenomena and the mutual enrichment of genetics and these sciences. In addition, this connection allows us to set the task of DNAs certification of all genes and genomes based on these multidimensional numbers for the comparative analysis of different DNAs using vector-metric analysis.

Genetic probability matrices of n-plets in DNAs are bisymmetric and have eigenvalues, eigenvectors and characteristic polynomials. These polynomials bring algebraic genetics closer to algebraic geometry, which is one of the central branches of mathematics and focuses on polynomial functions [Petoukhov, 2023a,b].

### *5. Some concluding remarks*

Since the philosophical works of Martin Heidegger, there has been the idea that language is smarter than us. The above and other results were obtained by the author using the language of matrix-tensor analysis, which is one of the foundations of modern mathematical natural science. Having received the first confirmation of the adequacy of this language for modeling a genetic coding system, the author began to

use its rich capabilities in a new scientific field, that is, in matrix genetics and algebraic biology, guided by the internal features of this algebraic language to obtaine new and new biological results thanks to it [Petoukhov, 2008; 2023b; Petoukhov, He, 2023]. In other words, genetic structures are translated by the author into this algebraic language, ultimately obtaining completely new biological meanings and universal patterns. In particular, the universal rules of dichotomies and fractals of probabilities in information sequences of genomic DNAs presented above provide new materials for understanding the genetic basis of heritable bodily dichotomies and fractals in organisms. They allow us to think about the existence of a hidden world of binary quasi-stochastic entities, which are the progenitors of biostructures and, possibly, associated with the Bose-Einstein condensate and theories of quantum mechanical long-range connections in the living. They also expand knowledge about the fundamental significance of the ancient principle “like begets like” for different levels of biological organization, and also open new approaches for understanding and modeling genetic intelligence [Petoukhov, 2023b; Petoukhov, He, 2023].

The author is grateful to all colleagues who over the years have contributed to the development of research in genetic biomechanics and algebraic biology. The author expresses special gratitude to V.I. Svirin, whose computer programs were actively used in these studies and with whom a number of articles were co-authored.

### *1. 介紹*

生物體被賦予了尋找食物、逃離掠食者、交配和建造（蜘蛛網、蜜蜂蜂巢織布鳥複雜巢穴等）的先天智力。 特別令人感興趣的是遺傳智能，透過它，我們了解生物體智力潛力的一部分，它允許在 DNA 和 RNA 分子中的遺傳訊息的基礎上，從一個受精細胞構建出具有數萬億個細胞的生物體。細胞。 同時，在這樣一個結構化的有機體中，儘管一生中存在強烈的噪音以及不斷變化的營養條件和外部影響，但親本特徵仍以多渠道、抗噪音的方式再現。 遺傳系統的功能特徵是驚人的。 例如，大腸桿菌中 DNA 鏈的複製速度（讀取「文本」）每秒超過 1000 個核苷酸 [Bank，2022]（令人驚訝的是「遺傳自動機」的速度導致了傑出數學家 Yu. I. Manin 提出了量子電腦的開創性思想 [Manin，1980]）。 活體中的酵素的工作效率比實驗室中最好的催化劑高數百萬倍：酵素在活體中只需 1 秒就能完成的工作，實驗室中的催化劑則需要 10 萬年才能完成。 在創建人工智慧系統時，人們應該考慮來自生物界的遺傳遺傳的演算法和通用結構。 這篇文章專門討論了透過代數棱鏡窺視的一些結果。

在對生命的研究中，我們應該記住生命體和無生命體之間的一個關鍵區別量子力學的創始人 P. Jordan 和 E. Schrödinger 指出：無生命的物體是由其數百萬個物體的平均隨機運動控制的。粒子和單一粒子的運動對於整體來說並不重要； 相反，在活的有機體中，由於量子增強，選定的遺傳分子對整個有機體具有獨裁的影響（參見「量子生物學」的歷史 [McFadden， Al-

Khalili，2018]）。 據此，要揭示生物界的秘密和專利，就必須研究 DNA 資訊學的規律。 本文的目的是展示作者的此類研究結果。

遺傳學作為一門科學始於孟德爾在生物體雜交實驗中發現性狀隨機（機率）遺傳規則。 生物體內的許多過程都是隨機的。 由於細胞中各個分子相互作用的隨機性，即使同一組織中基因相同的細胞也具有不同程度的蛋白質表現不同的大小和結構。 「小」特徵遺傳的統計本質與「大」特徵遺傳的確定性（格式塔生物學的主題）截然不同。 例如，儘管手指作為一個整體在形狀和結構上是確定的（3 個指骨等），但所有人的指紋都是不同的。 因此，生物現象與二元論「隨機決定論」有關，對它的研究可以導致基因型人工智慧的構建並有助於新材料的基因工程、生物醫學技術、個人遺傳學、 ETC。

根據孟德爾性狀獨立遺傳定律，DNA 分子層面的訊息儘管存在強大的噪音，但仍透過許多獨立的通道決定著生命體的宏觀結構。 因此，頭髮、眼睛和膚色的遺傳是相互獨立的。 因此，每個生物體都是多通道抗噪音編碼機。 第一篇量子生物學出版物的作者 P. Jordan 認為，科學所忽略的生物體定律是機率定律 [McFadden, Al-Khalili, 2018]。 本文介紹了作者發現的高等和低等生物基因組中 DNA 隨機組織的一些普遍規則。 這些結果導致了作者基於生物天線陣列的能量資訊演化學說、DNA 計算機科學與量子資訊科學形式主義之間的深層聯繫以及與代數生物相關的 2n 維雙曲數代數人工智慧的方法 [Petukhov，2022；佩圖霍夫，2021、2022a、b、c、2023； 佩圖霍夫，何，2010，2023]。 讓我們繼續展示所獲得的結果。

### *2. 關於生物天線陣列及其參與生物演化*

高等和低等生物體的單股 DNA 基因組中的核苷酸訊息序列具有一般的統計模式，這些模式是生物進化的通用遺傳規則的候選者 [Petoukhov, 2022a; 佩圖霍夫，他，2023]。 這些 DNA n 鏈機率規則是作者在分析遺傳資料庫 GenBank 中的多種基因組 DNA 時確定的，包括以下：1）所有 24 條人類染色體； 2) 果蠅、小鼠、蠕蟲、許多植物的所有染色體； 3）19 個細菌和古細菌基因組； 4）許多極端微生物生活在極端條件下，例如，輻射水平比人類致命水平高 1000 倍。

在分析這些普遍規則的過程中，作者註意到，在每個特定的基因組 DNA 中，對應的（2n*2n）n 元機率矩陣的關係是使用哈達瑪積（Hadamardproduct）透過矩陣等式來描述的，類比著名的數位天線陣列張量矩陣理論 [Slyusar, 1999]，也稱為智慧天線 [Petoukhov, 2022b]。

天線陣列有數千種應用：醫療掃描技術、聲納系統、無線電中繼站、射電天文設備、航空電子設備等。科學將電腦（生物光子學）和能源的革命性變化與基於奈米天線陣列的天線陣列聯繫起來。 天線陣列由許多相互匹配的獨立天線組成，每個天線發射或吸收特定頻率範圍的波（圖 1）。

天線陣列具有顯著的新興特性，因此吸引了全世界；大量文獻和許多網路網站都致力於研究它們。 它們提供的波發射和接收特性遠遠超過單一天線所能達到的特性，例如：

1）與單獨的天線相比，N 個單元的陣列可以將輻射的方向性和強度提高約 N 倍，並縮小發射射線；

2）天線陣列是確保通訊抗噪性並在強雜訊背景下擷取微弱訊號的獨特工具；

3）相控陣天線能夠進行多波束產生等操作。

考慮到天線陣列的這些新興特性和提到的代數類比，作者認為演化長期以來一直在生物體中使用這些特性。 但在科學文獻中，不可能找到任何一篇出版物將生物現象與天線陣列的新興特性連結起來。 為了填補這一空白，作者研究並確定了許多與生物天線陣列及其波浪活動相關的遺傳生物結構。 這些材料的總體構成了基於生物天線陣列的能量資訊演化學說的內容[Petoukhov, 2022b,c; 佩圖霍夫，他，2023]。 讓我們舉一些生物學的例子，回顧生物體中電振動和機械振動密切相關，因為許多組織都是壓電的，例如核酸、肌動蛋白、牙本質、肌腱、骨骼。

範例 1。 複眼，昆蟲和許多其他無脊椎動物透過複眼接收視覺訊息，並作為接收電磁波的生物天線陣列（圖 2）。

範例 2。 許多生物體都具有與生俱來的探礦能力，並且使用定向波輻射。 例如，海豚和蝙蝠能夠利用迴聲定位來確定物體的距離、大小和形狀，類似於技術中智慧天線的能力。 海豚的身體有許多水聲接收器，形成多元件寬頻接收天線系統（圖 3）。

範例 3。 生物體固有的電定位能力，透過產生和接收電場來解決搜尋、評估和相互溝通的問題。 在這種情況下，電感受器分佈在整個身體中，形成天線陣列的模擬（圖 4）。 生物體智力活動中的迴聲定位和電定位表明生物天線陣列及其波活動是自然智力的一部分。 生物智能理論的發展應基於以下知識：

天線陣列（智慧天線），以前從未與生物學和生物天線群聯繫在一起。

例 4。遺傳性光子晶體集合，例如，在蝴蝶翅膀、孔雀羽毛等上形成特定的鱗片圖案（圖 5）。 現代技術使用光子晶體來控制光子束的空間分佈。 它們是影響光子運動的週期性光學奈米結構，與奈米天線陣列主題相關。

範例 5：DNA、RNA、一些蛋白質以及細胞的膜和細胞骨架都是液晶，它們的集合也可以被認為是奈米生物天線陣列。 此外，我們注意到一個眾所周知的事實，即分子能夠充當組織電磁能量流的天線。 例如，支鏈樹枝狀聚合物分子在文章中通常被稱為天線。 基於生物天線陣列的進化論使得利用智慧

天線的特性及其協調的波組來理解生物現象成為可能，例如：

1.生物天線陣列的電磁波在壓電振動組件的參與下參與身體元件之間的能量傳輸和重新分配；

2. L.巴斯德指出，對於身體元素之間的關係，電磁波的極化類型對於生物不對稱性和分子手性的基本問題非常重要；

3. 天線陣列在強雜訊背景下提供多通道抗雜訊提取微弱訊號的獨特能力，使其能夠將身體理解為多通道抗雜訊編碼機。

關於生物天線陣列在體內能量流中的作用，我們可以回想起自古以來就存在的能量流在其中的組織作用的想法。 這個想法特別與中國古代信仰有關一種特殊能量「氣」的存在有關，這種能量的循環負責健康和疾病，並決定了稱為針灸經絡的能量通道的存在。 這種神秘的氣能可能與生物天線陣列的波動能有關。 所描述的關於基因組隨機組織、許多遺傳生理結構和智慧天線之間類比的材料產生了這樣的想法：遺傳密碼本身是波活動和生物天線陣列自組織的結果。 並且該代碼與該活動的其他可遺傳的生理後果相關。 從這個角度來看，遺傳密碼的結構組織和起源的秘密不應在遺傳密碼分子元素的隨機組合中尋找，而應在生物天線陣列自組織系統的新興特性中尋找。 天線的操作是基於共振機制，因此所提出的學說與作者的多共振遺傳學概念相關 [Petoukhov，2016，2022e]。 使用電子鑰匙遠端打開車門的範例很好地說明了基於天線輻射和諧振的系統的交互，電子鑰匙的天線發送編碼電磁波。 不同的機器需要不同的共振波碼。 讓我們補充一點，共振相互作用使用能量最小化的基本物理原理，因為當各個部分共振地組合成一個整體時，每個元件的運行所需的能量比單獨運行時需要的能量更少。 作者也指出，基因組 DNA 中所考慮的 n 組機率的普遍聯繫可以使用量子資訊科學的形式主義進行建模。 在這種情況下，所描述的基因組 DNA 通用隨機系統被表示為 2 量子位元狀態的規則多層網路 [Petoukhov, 2022b]。

因此，基因組 DNA 隨機組織的普遍規則不僅與智慧天線的形式主義相關，而且與量子資訊形式主義相關。 這種雙重關係是生物天線陣列系統和工程智慧天線之間的重要區別。 對於基因組 DNA 機率系統中類量子特徵的代數建模，作者引入了張量酉變換的概念作為算子，在張量變換為增加維度的空間向量期間保留向量的長度 [Petoukhov, 2022c; 佩圖霍夫，他，2023]。 它們是擴展隨機確定性記憶體同時保留所有先前記憶體的運算子。

### *3. 基因組 DNA 序列的統計規則*

DNA 中的遺傳訊息以 4 個核苷酸的序列書寫：腺嘌呤 A、鳥嘌呤 G、胞嘧啶 C 和胸腺嘧啶 T（圖 6）。DNA 還包含 16 個雙聯體、64 個三聯體、256 個四聯體等字母表。

根據喬丹的說法，為了尋找生物體中缺失的機率定律，讓我們轉向研究高等和低等生物體單股 DNA 基因組資訊序列的統計模式。 這些 DNA 序列的原始資料包含在公開的遺傳資料庫 GenBank (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/) 中。 具體而言，讓我們轉向人類第一條染色體單股 DNA 核苷酸序列統計模式的研究，該染色體包含約 2.5 億個核苷酸 (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/ nuccore/NC_000001 .11）。 4 個核苷酸 A、G、C、T 的字母表由兩個子字母表組成：嘌呤 A 和 G，含有兩個分子環，傳統上用符號“r”表示，以及嘧啶 C 和 T，含有一個分子環，用符號「r」表示符號「y」（圖 6）。

這條 DNA 染色體鏈可以表示為大約 2.5 億個「r」嘌呤和「y」嘧啶的二元序列，其類型為：ryyyyrrrryyr…。 讓我們檢查一下它的百分比構成： - 首先，將其想像為單個字元 r-y-y-y-r-r-... 的序列，併計算其中的百分比 %r 和 %y； - 然後將其想像為雙聯體序列 ry-yy-rr-yr-... 併計算每種可能類型的嘌呤和嘧啶雙聯體 %rr、%ry、%yr、%yy 的百分比； - 然後我們類似地將相同的二元嘌呤-嘧啶 DNA 序列表示為三聯體、四聯體、五聯體.....的序列，每次計算來自嘌呤和嘧啶的相應類型的 n-plet 的百分比。 結果，對於人類 1 號染色體的 DNA，我們獲得了表 1 中列出的 n 個嘌呤「r」和嘧啶「y」的百分比家族（百分比以 1 的分數給出）。

表 1. 以嘌呤 A、G 和嘧啶 C 和 T 的二元序列表示的第一條人類染色體 DNA 訊息序列中嘌呤「r」和嘧啶「y」的 n 個片段的百分比（n = 1， 2、3、4、5）。 百分比以一的分數形式給出。 以嘌呤（嘧啶）開頭的多胞體以紅色（藍色）表示。 文中解釋。

表中的數據表明，在所考慮的所有 n-plet 家族中，給定染色體 DNA 中意外地存在非常嚴格的模式：任何兩個 n-plet，其名稱因其中嘌呤和嘧啶的相互替換而不同（r ⇔y)，其中具有幾乎相等的百分比值。 例如，%ryy = 0.116037…，%yrr = 0.115959…。 米。 圖 7 以圖表的形式說明了給定染色體 DNA 的統計組織模式，每個圖表的左半部和右半部幾乎是鏡像對稱的。 如果 r 和 y 分別指定為 0 和 1，則表 1 和對應圖表中每個族中 n 個元素的順序將對應於二進位陣列中成員的升序排列（圖 7）。 例如，對於一個有 8 個三胞胎的家庭，我們在表 1 和圖 1 中看到。 7 排序 rrr、rry、ryr、ryy、yrr、yry、yyr、yyy，即 000、001、010、011、100、101、110、111。

此外，表 1 中不同 n 的嘌呤和嘧啶的 n-plet 百分比家族之間存在意想不到的自然聯繫。 它具有高精度級聯孿生的形式（對於 n = 1, 2, 3, 4, 5 的研究值）：

任何 n-pleth 的百分比實際上等於兩個（ n+1)-因後綴 “r”或「y」的存在而與其不同的數量（等於精確到小數點後第四位或第五位）。 這種現象學聯繫導致存在感興趣的分形二分樹（圖 8），其中每個節點都是其自己的分形二分樹的開始 [Petukhov，2022； 佩圖霍夫，2023a，b]。

繪畫 。 8. 比較不同 n 值的嘌呤和嘧啶的 n 組百分比以及對應的分形機率樹的圖表（右）。 在每個級別，間隔長度圖與表 1 中相應 n 個樣本的百分比值成正比。相鄰級別相應間隔長度之間的二分（或孿生）關係是可見的。

這些基因組 DNA 組織的統計規則（以第一條人類染色體 DNA 為例）也適用於上面研究和命名的其他高等和低等生物體的基因組。 在許多方面，在將核苷酸序列表示為酮分子和氨基分子的二元序列或強氫鍵和弱氫鍵序列的情況下，也獲得了基因組單股 DNA 的類似結果 [Petoukhov, 2023]。

生物體的二分法是眾所周知的：肺的支氣管樹、神經元和植物的分支、體細胞的有絲分裂等。 但在基因組 DNA 資訊學中，與身體結構相反，我們遇到了一種根本不同類型的二分法：DNA 資訊序列多層統計中百分比（機率）特徵的二分法。 基因組 DNA 機率的巨大二分分形網絡是生命體和遺傳智慧生長的資訊土壤。 生命體的物質二分結構並不是憑空產生的，而是在基因組資訊學的自然二元分形機率系統中具有結構原型。

基因組中普遍統計二分法的辨識使我們能夠以新的方式理解活體中的二分法現象。 例如，為什麼在地球上數十億年的生命中，細菌會透過將身體分成兩半來繁殖？ 這種細菌繁殖的「永恆」二分現像以及所有二分組織的遺傳訊息的二分分離的最複雜過程依賴於什麼結構和能量基礎？ 作者給了以下答案：有一個機率家族的世界，隱藏在直接感知之外，建立在二元對立（陰陽類型）的基礎上。 正是在這個多維度世界的二元機率家族的形象和相似性中，基因遺傳的生物體才得以建構出來。 我們的身體就像穿上這些二元結構機率族的衣服，充當它們的原型。 這讓人想起古代關於顯性世界和隱性世界的觀念，以及柏拉圖著名的關於思想世界和洞壁上的影子的寓言，生活在洞穴裡的人們可以透過寓言來判斷真正隱藏的思想世界。

### *4. DNA n-plet 機率的遺傳矩陣*

DNA 的 4 個核苷酸的字母表是一個具有二元對立特徵的系統：

1）其中兩個核苷酸是嘌呤（A 和 G），另外兩個（C 和 T）是嘧啶，這給出了表示 C = T = 0，A = G = 0；

2）其中兩個核苷酸是酮分子（T 和 G），另外兩個（C 和 A）是氨基分子，這給出了表示 C = A = 0，T = G = 1。

因此，4 個字母、16 個雙聯體和 64 個三聯體的 DNA 字母以方表的形式呈

現，方表的列用二元指示符「嗒啶或嘌呤」編號（C = T = 0，A = G = 1 ），以及帶有二元指示符「氨基或酮」的行（C=A=0，T=G=1）。 在此類表格中，所有字母、雙聯體和三聯體自動佔據嚴格單獨的位置（圖 9）。 這 3 個表不只是表，而且形成了單一張量矩陣族 [Petukhov，2008]。

20 個胺基酸和它們編碼的蛋白質合成終止訊號是如何位於這個演算法指定的 64 個三聯體矩陣中的？ 這種排列無法預測，因為胺基酸和核苷酸 A、C、G、T 的結構完全不同。 用於填充整個（8*8）矩陣的氨基酸排列及其重複的選項數量是不可估量的：>>10100（作為比較，在物理學中，宇宙的壽命估計為 1017 秒）。

這種胺基酸的排列會是混亂的還是會突然變得自然對稱？ 事實證明，大自然從可能性的海洋中選擇了這個 64 個三元組矩陣中氨基酸和停止信號的重複和排列的代數邏輯變體，如圖 1 所示。 10：此矩陣由成對的相鄰行組成，胺基酸和終止密碼子的組成相同[Petukhov，2008； 佩圖霍夫，他，2023]。這種張量矩陣模式是遺傳編碼與量子資訊科學形式主義密切聯繫的證據之一。

在 DNA 雙螺旋中，互補（即彼此相對）的核苷酸 A 和 T 透過 2 個氫鍵連接，核苷酸 C 和 G 透過 3 個氫鍵連接，這給出了表示 A=T=2 和 C=G =3。 在這方面，任何 n-plet 都可以以其每個核苷酸被相應數字 2 或 3 替換的形式表示。例如，在這種情況下，符號三聯體 CAT 被表示為數字三聯體 322，並且 Rice 上的所有符號 n-plet 矩陣。 9 成為相應數字 n-plet 的矩陣 [Petoukhov, 2023a,b]。在圖 2 的矩陣中也是可以的。 圖 9 將氫鍵的每個符號三聯體表示為其在所討論的 DNA 的 n 元組表示中的實施的百分比（機率）。 那麼演算法矩陣如圖所示。 9 成為該 DNA 中 n 段氫鍵機率的演算法矩陣（圖 11）。

這些矩陣是 2、4 和 8 維雙曲數的矩陣表示，透過將它們中的每一個進行二進移位分解為一組稀疏矩陣，在乘法下閉合併定義基本元素的乘法表來揭示相應的代數[Petukhov, 2008; 佩圖霍夫，他，2023]。 例如，如圖。 圖 12 顯示了圖 12 中的 (2*2) 矩陣的分解。 將 11 分成兩個稀疏矩陣 e0 和 e1，其集合透過乘法閉合，定義了二維雙曲數 x+jy 的代數乘法表，其中 x 和 y 是實數，j 是虛數單位雙曲數，滿足條件 j2 = +1 。 因此，所討論的矩陣是二維雙曲數%3+%2*j 的矩陣表示。

雙曲數與羅巴切夫斯基的雙曲幾何有關，根據許多作者的出版物，雙曲幾何與許多生理系統的結構有關[Bodnar，1992； 斯莫利亞尼諾夫，2000； 加尼尼亞等人，2022； 張等人，2023； 周夏皮，2021； Zhou, Smith, Sharpee, 2018]，相對論正弦戈登生物孤立子[Petukhov, 1999]，自同構龐加萊函數與抗噪音編碼理論[Preskill, 2016]，人工智慧的深度神經網路（參見綜述[ Peng 等。，2022] ) 等。遺傳編碼和二維雙曲數之間聯繫的發現為理解和建模遺傳現像以及

遺傳學和這些科學的相互豐富開闢了新的機會。 此外，這種連接使我們能夠根據這些多維數字設定所有基因和基因組的 DNA 認證任務，以便使用向量度量分析對不同 DNA 進行比較分析。

DNA 中 n 褶的遺傳機率矩陣是雙對稱的，並且具有特徵值、特徵向量和特徵多項式。 這些多項式使代數遺傳學更接近代數幾何，代數幾何是數學的中心分支之一，重點關注多項式函數 [Petoukhov, 2023a,b]。

### *5. 最後的一些評論*

自從馬丁·海德格的哲學著作以來，人們就認為語言比我們更聰明。 上述和其他結果是作者利用矩陣張量分析語言所獲得的，矩陣張量分析是現代數學科學的基礎之一。 在首次確認該語言用於遺傳編碼系統建模的充分性後，作者開始在新的科學領域（即矩陣遺傳學和代數生物學）中使用其豐富的功能，並在該代數的內部特徵的指導下語言並透過它獲得新的和新的生物學結果 [Petukhov，2008； 2023b； 佩圖霍夫，他，2023]。 換句話說，作者將遺傳結構翻譯成這種代數語言，最終獲得了全新的生物學意義和普遍模式。 特別是，上述基因組 DNA 資訊序列中二分法和機率分形的普遍規則，為理解生物體內可遺傳的身體二分法和分形的遺傳基礎提供了新材料。 它們使我們能夠思考二元準隨機實體的隱藏世界的存在，這些實體是生物結構的祖先，並且可能與玻色-愛因斯坦凝聚體和生命中量子力學長程連接的理論有關。 他們也擴展了關於「相似產生相似」這一古老原理對於不同層次的生物組織的基本意義的知識，並為理解和建模遺傳智能開闢了新的方法[Petoukhov，2023b； 佩圖霍夫，他，2023]。

作者感謝多年來為遺傳生物力學和代數生物學研究發展做出貢獻的所有同事。 作者特別感謝 V.I. Svirin，他的電腦程式在這些研究中被積極使用，並與他共同撰寫了許多資料。

***Литература*** ***References*** **參考書目**

Боднар О.Я. Геометрия филлотаксиса. *Доклады Академии Наук Украины*, №9, с.9-15, (1992).

Петухов С.В. *Матричная генетика, алгебры генетического кода, помехоустойчивость*. М., Регулярная и хаотическая динамика, 316 с. (2008). *http://petoukhov.com/matrix-genetics-petoukhov-2008.pdf*

Петухов С.В. *Биосолитоны. Основы солитонной биологии*. М., ГП Кимрская типография, 288 с. (1999). *http://petoukhov.com/?page_id=278*

Петухов С.В. Генетический интеллект, доктрина энерго-информационной эволюции на основе био-антенных решеток и квантовая информатика. Биомашсистемы, т. 1, № 4, с. 169-194 (2022).

Смолянинов В.В. Пространственно-временные задачи локомоторного управления. *Успехи физических наук*, т. 170, № 10, с. 1063-1128 (2000).

Bank E. How Much Time Does It Take for a DNA Molecule to Replicate? - Sciencing, (8 November 2022), *https://sciencing.com/much-time-dna-molecule-replicate-21660.html* .

Ghaninia M., Zhou Y., Knauer A.C., Schiestl F.P., Sharpee T.O, Smith B.H. Hyperbolic odorant mixtures as a basis for more efficient signaling between flowering plants and bees. - *PLoS One*, 13, 17(7) (2022 Jul). e0270358. doi: 10.1371/journal.pone.0270358. PMID: 35830455; PMCID: PMC9278781.

Манин Ю.И. *Вычислимое и невычислимое*. Москва: Советское Радио (1980).

McFadden, J. and Al-Khalili, J. The origins of quantum biology. *Proceedings of the Royal Society A*, Vol. 474, Issue 2220, pp. 1-13 (2018). (https://doi.org/10.1098/rspa.2018.0674).

Peng W., Varanka T., Mostafa A., Shi H., Zhao G. Hyperbolic Deep Neural Networks: A Survey. - *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 44, no. 12, p. 10023-10044 (December 2022).

Petoukhov S.V. The system-resonance approach in modeling genetic structures. *Biosystems*, v. 139, p. 1-11 (2016). http://petoukhov.com/PETOUKHOV_ARTICLE_IN_BIOSYSTEMS.pdf .

Petoukhov S.V. Algebraic harmony and probabilities in genomes. Long-range coherence in quantum code biology. – *Biosystems*, Vol. 209, 104503 (2021).

Petoukhov S.V. Binary oppositions, algebraic holography, and stochastic rules in genetic informatics. *Biosystems*, vol. 221, 104760 (2022a). *https://doi.org/10.1016/ j.biosystems.2022.104760*

Petoukhov S.V. The stochastic organization of genomes and the doctrine of energy-information evolution based on bio-antenna arrays. *Biosystems* (2022b), 104712, ISSN 0303-2647, *https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2022.104712.*

Petoukhov S.V. Rules of Stochastics of Genomic DNAs, Biological Dualism “Stochastics-Determinism”, and Tensor-Unitary Transformations. – Preprints 2022, 2022080435 (2022c) (doi: 10.20944/preprints202208.0435.v1).

Petoukhov S.V. The Principle “Like Begets Like” in Molecular and Algebraic-Matrix Genetics. Preprints 2022, 2022110528 (2023a) (doi: 10.20944/preprints202211.0528.v3).

Petoukhov S.V. The principle “like begets like” in algebra-matrix genetics and code biology. *Biosystems* v. 233, 105019 (2023b). https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2023.105019.

Petoukhov S.V., He M. *Symmetrical Analysis Techniques for Genetic Systems and Bioinformatics: Advanced Patterns and Applications*. IGI Global, USA (2010).

Petoukhov S.V., He M. Algebraic Biology, Matrix Genetics, and Genetic Intelligence. – Singapore, World Scientific, 2023, 616 p., *https://doi.org/10.1142/13468.*

Preskill J. Stability, topology, holography: the many facets of quantum error correction. - *Presentation at American Physical Society* (16 March 2016), *http://theory.caltech.edu/~preskill/talks/APS-March-2016-preskill.pdf.*

Slyusar V.I. New Matrix Operations for Digital Signal Processing. – *Projects: Multidimen-*

*sional signal processing for digital antenna arrays. Tensor-matrix theory of Artificial Intelligence* (November 1999). DOI: 10.13140/RG.2.2.31620.76164/1

Zhang H., Rich P.D, Lee A.K, Sharpee T.O. Hippocampal spatial representations exhibit a hyperbolic geometry that expands with experience. *Nat. Neurosci*., 26(1), p. 131-139 (Jan 2023). doi: 10.1038/s41593-022-01212-4. Epub 2022 Dec 29. PMID: 36581729.

Zhou Y., Sharpee T.O. Hyperbolic geometry of gene expression. iScience, vol. 24, no.3, Art. no. 102225. (2021). doi: 10.1016/j.isci.2021.102225. PMID: 33748711; PMCID: PMC7970362

Zhou Y., Smith B.H, Sharpee T.O. Hyperbolic geometry of the olfactory space. - *Sci Adv*., 4(8): eaaq1458 (2018, Aug 29). doi: 10.1126/sciadv.aaq1458. PMID: 30167457.

DOI 10.18699/sblai2023-45
УДК 519.7

# *Информационная не редукционистская теория сознания, обеспечивающая максимальную точность прогноза реальности*

*Informational non-reductionist theory of consciousness that providing maximum accuracy of reality prediction*

# *意识的信息性非还原论 这确保了现实预测的最大准确性*

Витяев Е.Е.
Vityaev E.E.

Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН,
Новосибирск, Россия,
Sobolev Institute of Mathematics SB RAS, Novosibirsk, Russia,
S.L.Sobolev 数学研究所 SB RAS, 俄罗斯新西伯利亚,
*vityaev@math.nsc.ru*

***Аннотация.*** В работе рассматривается не редукционистская теория сознания, которая не сводимая к теориям реальности и к физиологическим или психологическим теориям. Следуя «информационному подходу» Д.И.Дубровского к проблеме «сознание и мозг», будем рассматривать реальность через призму информации о наблюдаемых явлениях, которая, в свою очередь воспринимается субъективной реальностью через ощущения, восприятия, чувства и т.д., которые, в свою очередь, являются информацией относительно соответствующих мозговых процессов. В рамках такого подхода выдвигается следующий принцип построения Информационной Теории Сознания (ИТС): *мозг обнаруживает все возможные причинные связи во внешнем мире и делает все возможные выводы по ним*. В работе показывается, что построенная на нем ИТС: (1) основывается на информационных законах структуры внешнего мира; (2) объясняет строение и функционирование функциональных систем и клеточных ансамблей; (3) обеспечивает максимальную точность прогноза и предвосхищения реальности; (4) разрешает возникающие противоречия и (5) является информационной теорией отражения мозгом реальности.

***Ключевые слова***. реальность, сознание, мозг, информация, отражение.

***Annotation.*** The paper considers a non-reductionist theory of consciousness, which is not reducible to theories of reality and to physiological or psychological theories. Following D.I.Dubrovsky's "informational approach" to the "Mind-Brain Problem", we consider the reality through the prism of information about observed phenomena, which, in turn, is perceived by subjective reality through sensations, perceptions, feelings, etc., which, in turn, are information about the corresponding brain processes. Within this framework the following principle of the Information Theory of Consciousness (ITS) development is put forward: *the brain discovers all possible causal relations in the external world and makes all possible inferences by them*. The paper shows that ITS built on this principle: (1) also base on the information laws of the structure of external world; (2) explains the structure and functioning of the brain functional systems and cellular ensembles; (3) ensures maximum accuracy of predictions and the anticipation of reality; (4) resolves emerging contradictions and (5) is an information theory of the brain's reflection of reality.

***Keywords.*** reality, consciousness, mind-brain problem, brain, information.

***注释, 注释.*** 著作探討了非還原論的意識理論，不能還原為現實理論以及生理或心理學理論。 遵循 D. I. 杜布羅夫斯基對“意識與大腦”問題的“信息方法”，我們將通過觀察到的現象的信息棱鏡來考慮現實，而這些現象又通過感覺、知覺、感受等被主觀現實所感知。……，這又是有關相應大腦過程的資訊。 在這個方法的框架內，提出了建構意識資訊理論（ITS）的以下原則：大腦偵測外在世界中所有可能的因果關係，並從中得出所有可能的結論。 該工作表明，建立在其之上的智慧交通系統：（1）基於外部世界結構的資訊規律；(2) 解釋功能係統和細胞組件的結構和功能； (3) 確保對現實的預測和預期的最大準確性；（4）解決了新出現的矛盾，（5）是關於大腦如何反映現實的資訊理論。

***關鍵字.*** 現實、意識、大腦、資訊、反思.

## 1. *Введение*

Не редукционистская теория сознания не сводима к какой-либо теории реальности и к какой-либо физиологической или психологической теории.

На Седьмой международной конференции по когнитивной науке К.В.Анохин в своем докладе говорил, что «Проблема не в том, что существующие нейрофизиологические теории несовершенны … Используемые в них коррелятивные подходы просто не могут дать ответа на вопросы о природе разума и субъективного опыта … Для этого нужна нередукционная фундаментальная теория» [3].

Макс Тегмарк в своей книге [14] также писал, что между внешней реальностью «External Reality» и «Internal Reality» должна быть промежуточная реальность «Consensus Reality», описывающая наблюдаемую реальность в физических терминах и отражающаяся во внутренней реальности.

Следуя Д.И.Дубровскому [10] будем использовать «информационный подход» к описанию «Internal Reality» как субъективной реальности. При этом субъективная реальность – это реальность осознаваемых состояний индивида - ощущений, восприятий, чувств, мыслей, намерений, желаний и т.д.

В тоже время явления субъективной реальности рассматриваются как информация, связанная с соответствующим мозговым процессом как со своим носителем. Таким образом, в рамках информационного подхода к проблеме «сознания и мозг» мы получаем следующую схему рис. 1. В ней реальность описывается через информацию о наблюдаемых явлениях, которая воспринимаются субъективной реальностью через ощущения, восприятия, чувства и т.д., которые в свою очередь являются информацией относительно соответствующих мозговых процессов.




*Рис. 1.Сознание и Мозг.*
*Fig. 1.Consciousness and Brain.*
**圖 *1.* 意識 和大腦。**

Каково назначение этой информации? Точнее всего он определен в «принципе эволюции живого мира»,

сформулированного П.К.Анохиным: «Сложилась одна универсальная закономерность в приспособлении организмов к внешним условиям, которая в дальнейшем бурно развивалась на протяжении всей эволюции живого мира: в высшей степени быстрое отражение медленно развертывающихся событий внешнего мира» [5].

Раскроем этот принцип и сформулируем принципы построения информационной теории сознания.

I. Во-первых, следуя «принципу эволюции живого мира» эта информационная теория должна предвосхищать события внешнего мира. Однако, если бы внешний мир был случаен, то никакое его предвосхищение было бы невозможно.

Но наш мир хорошо структурирован. Если в информационной структуре реальности есть какие-то законы, то естественно предположить, что в процессе эволюции вырабатывались такие нейробиологические механизмы, которые бы использовали эти структуры для обеспечения наиболее точного отражения реальности. Поэтому необходим следующий принцип.

II. Информационная теория отражения должна основываться на законах структуры внешнего мира и описывать одновременно как информационную структуру реальности, так и нейрофизиологические и другие механизмы, которые обеспечивают отражение этой структуры в терминах субъективной реальности.

Далее будут приведены такие законы информационной структуры реальности. Нейробиологические механизмы, соответствующие им и использующие эти структуры, указал в своем докладе «Когнитом – гиперсетевая модель мозга» К.В. Анохин. Это КОГи (Когнитивные Группы Нейронов), обобщающие теории функциональных систем и клеточных ансамблей Д. Хебба [17].

В работе предлагается следующий фундаментальный принцип Информационной Теории Сознания (ИТС), которого достаточно для объяснения основных упомянутых информационных процессов:

**ПРИНЦИП неограниченного вывода:** ***Мозг обнаруживает все возможные причинные связи во внешнем мире и делает все возможные выводы по ним***.

Оказывается, что этого принципа достаточно для построения Информационной Теории Сознания, которая:

1. Объясняет строение и функционирование когов функциональных систем и клеточных ансамблей Д. Хебба.
2. Основываться на приводимых далее информационных законах структуры внешнего мира.
3. Обеспечивает максимальную точность прогноза и реальности.
4. Разрешает возникающие противоречия.

5. Является информационной теорией отражения реальности мозгом.

## 2. *Причинность*

Рассмотрим первый закон информационной структуры внешнего мира – его причинность. Причинность является следствием физического детерминизма: «для любой изолированной физической системы некоторое ее состояние определяет все последующие состояния» [12]. Но рассмотрим автомобильную аварию [12]. В чем её причина? Это может быть состояние дорожного покрытия, его влажность, положение солнца относительно водителя, безрассудное вождение, психологическое состояние водителя, неисправность тормозов и т.д. Очевидно, что в этом случае нет определенной причины.

В философии науки причинность сводится к предсказанию и объяснению. «Причинно-следственная связь означает предсказуемость… если известна вся предыдущая ситуация, событие может быть предсказано…, если даны все факты и законы природы, связанные с этим событием» [12]. Понятно, что знать все факты, число которых, как в случае аварии, потенциально бесконечно и все законы невозможно. Кроме того, человек и животные узнают законы внешнего мира путем обучения. Поэтому, причинность сводится к предсказанию с помощью индуктивно-статистического вывода, когда предсказание выводятся из фактов и статистических законов с некоторой вероятностью.

Кроме того, причинно-следственные связи в виде статистических законов, обнаруженных на реальных данных или в результате обучения, сталкиваются с проблемой статистической двусмысленности – из них могут быть выведены противоречивые предсказания [18]. Чтобы избежать этой двусмысленности Гемпель ввел требование максимальной специфичности [18], неформально состоящее в том, что статистические законы должны включать максимум наличной информации.

Нами была решена проблема статистической двусмысленности и определены максимально Максимально Специфические Причинные Связи (МСПС), для которых было доказано, что индуктивно-статистических вывод, использующий их, не приводит к противоречиям [28,32] и тем самым максимально точно реализуют принцип эволюции живого мира П.К.Анохина. Нами был разработан специальный семантический вероятностный вывод [28,32], который обнаруживает МСПС. Он, в частности, удовлетворяет определению Cartwright [15] вероятностной причинной связи относительно некоторого бэкграунда, состоящее в том, что каждое условие посылки причинной связи строго увеличивает условную вероятность заключения. Также нами разработана формальная модель нейрона [30], удовлетворяющая правилу Хебба, которая осуществляет этот вывод и обнаруживает МСПС причинные связи [28,32].

Таким образом, точно анализируя понятие причинной связи мы получаем, что этот информационный закон реальности может быть представлен в ИТС обнаружением причинных связей на уровне нейрона, обеспечивающих его пластичность и проявляющуюся, в частности, в условных реакциях. При этом они могут быть максимально точными посредством использования МСПС условных связей.

Это обеспечивает ***первый уровень максимальной точности предсказаний*** и предвосхищения реальности, реализующие принцип опережающего отражения действительности.

### 3. «*Естественная*» *классификация*

Перейдем к следующему закону информационного строения объектов внешнего мира - «естественной» классификации. Первый достаточно подробный анализ «естественной» классификации принадлежит Дж. Ст. Миллю [21]. Сначала отделим «искусственные» классификации от «естественных»: «Возьмем любой признак, и если одни вещи обладают им, а другие не обладают, то на нем можно основать деление всех вещей на два класса». «Но если мы обратимся к … классу «животное» или «растение», … то мы найдем, что в этом отношении одни классы сильно отличаются от других. … обладают столь большим количеством признаков, что их нельзя … перечислить» [21].

«Естественную» классификацию Дж. Ст. Милль определяет следующим образом: «Всего более соответствует целям научной (естественной) классификации, когда предметы соединяются в такие группы, относительно которых можно высказать наибольшее число общих предложений» [21]. На основании понятия «естественной» классификации Дж. Ст. Милль определяет понятие «образа» класса, как о некотором образце, обладающем всеми признаками данного класса.

Естествоиспытатели писали, что создание «естественной» классификации заключается в «индикации» – от бесконечно большого числа признаков нужно перейти к ограниченному их количеству, которое заменило бы все остальные признаки [13]. Это означает, что в «естественных» классах признаки сильно коррелированы, например, если есть 128 классов и атрибуты двоичные, то независимыми «индикаторными» атрибутами среди них могут быть только 7 атрибутов, т.к. $2^7 = 128$, а другие атрибуты могут быть предсказаны по значениям этих 7 атрибутов. Мы можем выбирать различные 7-10 атрибутов в качестве «индикаторных» и тогда другие атрибуты, которых потенциально бесконечно много, могут быть предсказаны по этим выбранным атрибутам. Поэтому, существует экспоненциальное (относительно числа атрибутов) число причинно-следственных связей, связывающих атрибуты объектов «естественных» классов. Такая избыточность информации при восприятии

объектов внешнего мира подтверждается в когнитивных науках при анализе «естественных» понятий.

### 4. «*Естественные*» *понятия в когнитивных науках*

Высоко коррелированную структуру внешнего мира выявляет также теория «естественных» понятий. При этом, «естественная» классификация выявляет структуру объектов внешнего мира, а «естественные» понятия, исследуемые в когнитивных науках, определяют восприятие этих «естественных» объектов как элементов субъективной реальности.

В работах Eleanor Rosch был сформулирован следующий принцип категоризации «естественных» категорий: «Perceived World Structure … is not an unstructured total set of equiprobable co-occurring attributes. Rather, the material objects of the world are perceived to possess … *high correlational structure* … combinations of what we perceive as the attributes of real objects do not occur uniformly. Some pairs, triples, etc., are quite probable, appearing in combination … with one, sometimes another attribute; others are rare; others logically cannot or empirically do not occur» [25].

Непосредственно воспринимаемые объекты (basic objects) – информационно богатые связки наблюдаемых свойств, создающие категоризацию (образ в определении Дж. Ст. Милля): «Categories can be viewed in terms of their clear cases if the perceiver places emphasis on the *correlational structure of perceived attributes* … By prototypes of categories we have generally meant the clearest cases of category membership» [24].

В дальнейших исследованиях было обнаружено, что моделей, основанных на признаках, сходстве и прототипах, недостаточно для описания «естественных» классов. Учитывая эти исследования, Bob Rehder выдвинул теорию причинных моделей (causal-model theory), в соответствии с которой: «people's intuitive theories about categories of objects consist of a model of the category in which both a category's features and the causal mechanisms among those features are explicitly represented» [23]. В теории причинных моделей отношение объекта к категории основывается уже не на множестве признаков и близости по признакам, а на основании сходства порождающего причинного механизма.

Для представления причинного знания Bob Rehder использовал Байесовские сети [22]. Однако они не поддерживают циклов и поэтому не могут моделировать циклические причинные связи. Предлагаемая нами далее формализация в виде вероятностных формальных понятий прямо моделирует циклические причинные связи [5-8,28-29,32].

## 5. *Теория интегрированной информации G.Tononi*

На высоко коррелированной структуре внешнего мира основана также теория интегрированной информации G.Tononi [20, 26-27]. Если «естественная» классификация описывает объекты внешнего мира, а когнитивные науки – восприятие объектов внешнего мира, то теория интегрированной информации анализирует информационные процессы мозга при восприятии объектов внешнего мира.

Интегрированная информация у G.Tononi рассматривается как свойство системы циклических причинных связей: «Indeed, a “snapshot” of the environment conveys little information unless it is interpreted in the context of a system whose complex causal structure, over a long history, has captured some of the causal structure of the world, i.e. long-range correlations in space and time» [27].

Взаимосвязь интегрированной информации с реальностью G.Tononi описывает следующим образом: «Cause-effect matching … measures how well the integrated conceptual structure … fits or ‘matches’ the cause-effect structure of its environment», «… matching should increase when a system adapts to an environment having a rich, integrated causal structure. Moreover, an increase in matching will tend to be associated with an increase in information integration and thus with an increase in consciousness» [26-27].

G.Tononi определяет сознание как первичное понятие, которое обладает следующими феноменологическими свойствами: composition, information, integration, exclusion [20, 26-27]. Приведем формулировки этих свойств вместе с нашей интерпретацией этих свойств (приведенной в скобках) с точки зрения «естественной» классификации объектов внешнего мира.

1. composition – elementary mechanisms (causal interactions) can be combined into higher-order ones («естественные» классы объектов образуют иерархию);

2. information – only mechanisms that specify ‘differences that make a difference’ within a system count (только система «резонирующих» причинных связей, формирующая класс, является значимой);

3. integration – only information irreducible to non-interdependent components counts (значима только система «резонирующих» причинных связей, не сводимая к информации отдельных компонент, свидетельствующая об избытке информации и восприятии высоко коррелированной структуры «естественного» объекта);

4. exclusion – only maxima of integrated information count (только значения признаков, которые максимально взаимосвязаны причинными связями формируют «образ» или «прототип»).

В отличии от G.Tononi, мы рассматриваем эти свойства не как внутренние свойства системы, а как способность системы отражать «естественную» классификацию объектов внешнего мира. Тогда сознание, в отличии от G.Tononi

определяется не феноменологическими свойствами нейронных структур, а как способность мозга, используя интегрированную информацию нейронных структур, отражать мир, представленный иерархической «естественной» классификацией в системе «естественных понятий» и их причинных моделей.

### 6. *Формализация «естественной» классификации, «естественных» понятий и сознания, как интегрированной информации по G.Tononi*

В соответствии с Принципом неограниченного вывода, мозг осуществляет все возможные выводы по причинным связям. Эти причинные связи, которых экспоненциальное число, в процессе восприятия «естественных» объектов зацикливаются сами на себя, образуя определенный «резонанс», который является системой с высоко интегрированной информацией в смысле G.Tononi. При этом, «резонанс» возникает тогда и только тогда, когда эти причинные связи отражают некоторый целостный «естественный» объект, в котором потенциально бесконечное множество признаков взаимно предполагают друг друга. Возникающие при этом циклы выводов по причинным связям математически описываются «неподвижными точками», которые характеризуются тем, что дальнейшее применение выводов к рассматриваемым свойствам не предсказывает новых свойств. Полученное в неподвижной точке множество взаимно пред сказывающихся свойств дает «образ» класса, «прототип» понятия и его «причинную модель». Поэтому мозг воспринимает «естественный» объект не набором признаков, а как «резонирующую» систему причинных связей, замыкающихся на себя через одновременный вывод всей совокупности признаков «образа» или «прототипа» образующих «причинную модель».

Можно показать, что МСПС причинные связи, организованные в клеточные ансамбли, позволяют максимально достоверно идентифицировать объекты внешнего мира и затем максимально точно предсказывать свойства этих объектов, используя эту идентификацию. Такие предсказания получаются более точными, поскольку для предсказания используются только относящиеся к этому классу МСПС причинные связи. Это образует ***второй***, ещё более точный, с точки зрения прогноза, ***уровень организации информационных процессов***.

Нами предлагается принципиально новый математический аппарат для определения интегрированной информации, «естественной» классификации и «естественных» понятий. Наша формализация основана на вероятностном обобщении анализа формальных понятий [8, 29-32]. Формальные понятия могут быть определены как неподвижные точки детерминированных правил (не имеющих исключений) [19]. Но, как писал Дж. Милль «Естественные группы … определяются признаками, … при этом принимаются во внимание не только

признаки, безусловно общие всем включаемым в группу предметам, но вся совокупность тех признаков, из которых все встречаются в *большинстве* этих предметов, а *большинство* – во всех». Поэтому нужно уйти от детерминированных правил и заменить их на вероятностные, чтобы определять признаки не точно, а для большинства. Поэтому мы обобщаем формальные понятия на вероятностный случай, заменяя детерминированные правила на МСПС причинные связи и определяя вероятностные формальные понятия как неподвижные точки этих максимально специфических правил [8,29-32]. В силу того, что вывод по максимально специфическим причинным связям непротиворечив, полученная неподвижная точка также будет непротиворечива и не будет содержать одновременно признак и его отрицание, т.е. такое определение вероятностных формальных понятий корректно.

Можно показать [9], что вероятностные формальные понятия адекватно формализуют «естественную» классификацию и, кроме того, полученная «естественная» классификация удовлетворяет всем требованиям, которые естествоиспытатели предъявляли к «естественным» классификациям [9].

Рассмотрим пример компьютерного моделирования обнаружения «естественных» классов, «естественных» понятий и интегрированной информации для закодированных цифр. Пусть X($a$) – множество свойств объекта $a$, заданных некоторым множеством предикатов, а $(P_{i_1}\wedge...\wedge P_{i_k}\Rightarrow P_{i_0})\in MS(X)$ – множество МСПС причинных связей выполненных для свойств X, $\{P_{i_1}\wedge...\wedge P_{i_k}\Rightarrow P_{i_0}\}\subset X$ .

Тогда оператор предсказания Pr и неподвижная точка могут быть записаны следующим образом [6,9]:

$$Pr(X)=\Phi_{Krit}(X\cup\{P_{i_0}|(P_{i_1}\wedge...\wedge P_{i_k}\Rightarrow P_{i_0})\in MS(X)\}\cup\{\neg P_{i_0}|(P_{i_1}\wedge...\wedge P_{i_k}\Rightarrow\neg P_{i_0})\in MS(X)\}),$$

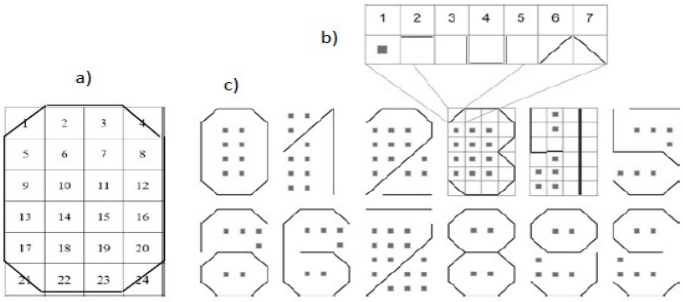



*Рис. 2. Кодировка цифр*
*Fig. 2. Number encoding*
*圖 2. 數位編碼*

где $\Phi_{Krit}(X)$ – оператор, модифицирующий множество признаков X путем добавления или удаления некоторого признака так, чтобы определенный критерий Krit взаимной согласованности причинных связей по взаимному предсказанию признаков из X был максимальным [6,9]. Критерий Krit измеряет

информационную интеграцию признаков по системе причинных связей MS(X) иначе, чем это делается в теории G.Tononi. Неподвижная точка достигается тогда, когда $Pr^{n+1}(X(a))=Pr^{n}(X(a))$ , для некоторого $n$, где $Pr^n$ – n кратное применение оператора $Pr$. Поскольку при каждом применении оператора $Pr$ значение критерия $Krit$ увеличивается и в неподвижной точке достигает локальный максимум, то неподвижная точка, отражающая некоторый «естественный» объект, обладает максимумом интегрированной информации и свойством «exclusion» по G.Tononi.

Закодируем цифры как показано на рис. 2. Сформируем обучающее множество, состоящее из 360 перетасованных цифр (12 цифр рис. 2 продублированных в 30-ти экземплярах без указания, где какая цифра). На этом множестве семантическим вероятностным выводом было обнаружено 55089 МСПС причинных связей – общих утверждений об объектах,

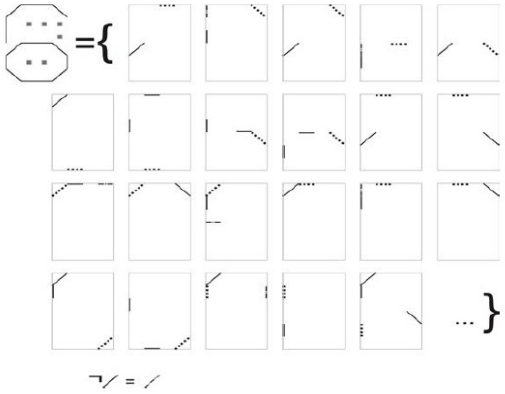


*Рис. 3. Неподвижная точка цифры 6.*
*Fig. 3. Fixed point of number 6.*
*圖 3. 6 號固定點。*

о которых говорил Дж. Ст. Милль. По этим закономерностям было обнаружено ровно 12 неподвижных точек, точно соответствующих цифрам.

Пример неподвижной точки для цифры 6 приведен на рис. 3. Рассмотрим, что представляет собой эта неподвижная точка. Занумеруем признаки цифр, как указано на рис. 2. Первая закономерность цифры 6 рис. 3, представленная в первом прямоугольнике после фигурной скобки означает, что, если в квадрате 13 стоит признак 6 (обозначим это как 13-6), то в квадрате 3 должен стоять признак 2 (обозначим как (3-2)). Предсказываемый признак обозначается точечной линией. Запишем эту причинную связь как (13-6 ⇒ 3-2). Нетрудно проверить, что эта причинную связь выполнена на всех цифрах. Вторая причинная связь означает, что из признака (9-5) и отрицания значения 5 первого признака ¬(1-5) (первый признак не должен быть равен 5) следует признак (4-7). Отрицание обозначается на рисунке пунктирной линией, как показано в нижней части рис. 3. Получим причинную связь (9-5&¬(1-5) ⇒ 4-7).

Последующие 3 причинных связей в первой строке цифры 6 будут соответственно (13-6 ⇒ 4-7), (17-5&¬(13-5) ⇒ 4-7), (13-6 ⇒ 16-7).

На рис. 3 видно, что причинные связи и признаки цифры 6 образуют неподвижную точку – взаимно предсказывают друг друга. Заметим, что причинные связи, используемые в неподвижной точке, выполнены на всех цифрах, а сама неподвижная точка выделяет только цифру 6. Это иллюстрирует феноменологическое свойство 2 ‘differences that make a difference’, в котором система причинных связей воспринимает «осознает» целостный объект. Поэтому цифры выделяются не причинными связями самими по себе, а их системной взаимосвязью.

Неподвижная точка формирует «прототип» по Eleanor Rosch или «образ» по Дж. Ст. Миллю. Программа не знает заранее, какие сочетания признаков максимально коррелируют между собой.

Вероятностными формальными понятиями, описываются не только «естественные» понятия, но и контексты. Контексты также обладают свойством максимальной точности предсказания – причинные связи, обнаруженные на некотором контексте и составляющие его причинную модель будут точнее предсказывать свойства данного контекста.

Рассмотрим следующий пример рис. 4, содержащий как цифры, так и буквы.

Можно обучиться только на цифрах и построить вероятностные формальные понятия цифр, можно обучиться на буквах и построить вероятностные понятия только букв, а можно обучиться на цифрах и буквах и построить формальные понятия цифр и букв.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| А | Б | В | Г | Д | Е | Ё | Ж | З |
| И | Й | К | Л | М | Н | О | П | Р |
| С | Т | У | Ф | Х | Ц | Ч | Ш | Щ |
| Ъ | Ы | Ь | Э | Ю | Я | | | |

*Рис. 4. Два контекста - Цифры и Буквы*
*Fig. 4. Two contexts - Numbers and Letters*
*圖 4. 兩個上下文 – 數字和字母*

В каждом из этих случаев будут обнаружены различные МСПС причинные связи, но МСПС причинные связи, описывающие совместно цифры и буквы будут содержать дополнительные признаки, отделяющие их друг от друга, что получается автоматически по МСПС причинным связям. При рассмотрении (в контексте) и букв и цифр МСПС причинные связи будут иметь более высокую вероятность, чем МСПС отдельно для цифр и букв, поэтому именно они будут срабатывать в этом контексте. Наша формальная модель нейрона,

обнаруживающая максимально специфические причинные связи [30] следует известному физиологическому свойству нейронов – быстрее по времени срабатывают более вероятные условные стимулы.

## 7. *Теория функциональных систем*

Формализация когов второго типа – когов функциональных систем, основана на рассмотрении целенаправленного поведения, которое осуществляется путем выработки условных (причинных) связей между действиями и их результатами. Этих условных связей достаточно для моделирования функциональных систем и разработки аниматов.

Ещё П.К Анохиным писал, что «Речь идет о коллатеральных ответвлениях пирамидного тракта, отводящих ко многим нейронам “копии” тех эфферентных посылок, которые выходят на пирамидный тракт» [4-5]. Таким образом, когда моторный нейрон отправляет сигнал мышцам о некотором действии, то копии этого возбуждения отправляются в том числе в проекционные зоны, которые могут фиксировать результат выполненного действия. Поэтому мозг обнаруживает все причинные связи между действиями и их результатами.

Покажем на схеме рис 5, что этого достаточно для объяснения основных механизмов формирования функциональных систем работы мозга [7,31]. Предположим, что у нас нет ещё опыта и возникло мотивационное возбуждение, показанное черным треугольником. Тогда для удовлетворения потребности методом проб и ошибок мы можем сделать некоторое действие, которое будет активировано некоторым нейроном, обозначенным белым треугольником.

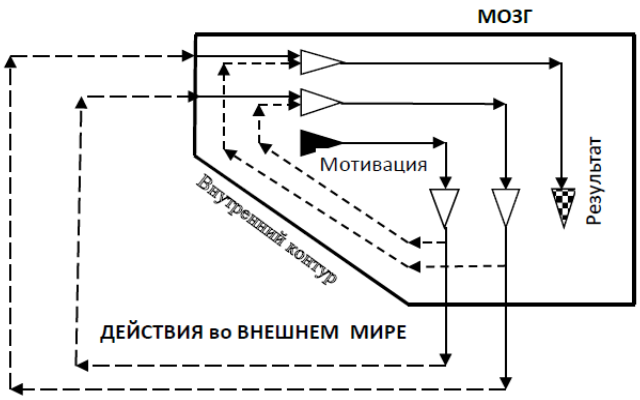



*Рис. 5. Формирование МСПС условных связей между действиями и результатами*
*Fig. 5. Formation of conditional connections between actions by MSPS and results*
*圖 5. 透過 MSPS 在動作之間形成條件連接 和結果*

Одновременно с активацией этого действия «копия» возбуждения этого нейрона будет отправлена в проекционные зоны, где найдется нейрон, который

среагирует на результат действия, поступивший из внешнего мира. Поскольку этот же нейрон предварительно получит возбуждение от активации действия белым нейроном, то он сформирует условную связь между активацией действия белым нейроном и полученным результатом. Если теперь после получения этого результата, изменившего обстановку, осуществить некоторое следующее действие, также обозначенное белым треугольником, то получим следующий результат, для которого также найдется нейрон, который среагирует на результат этого действия. Если в результате потребность будет удовлетворена и цель достигнута, то вся цепочка активных нейронов и условных связей, приведшая к результату будет подкреплена и занесена в память. Таким образом, возникнет *внутренний контур* прогноза достижения результата по причинным связям. Тогда, при следующем возникновении мотивационного возбуждения, эта цепочка действий будет извлечена из памяти и спрогнозирует достижение результата по внутреннему контуру ещё до всяких действий. Так будет сформирован план действий, который по внутреннему контуру, как сказано в цитате П.К.Анохина, активирует нейроны, ожидающие результаты действий, что сформирует *акцептор результатов действий*, подробно исследованный в теории функциональных систем.

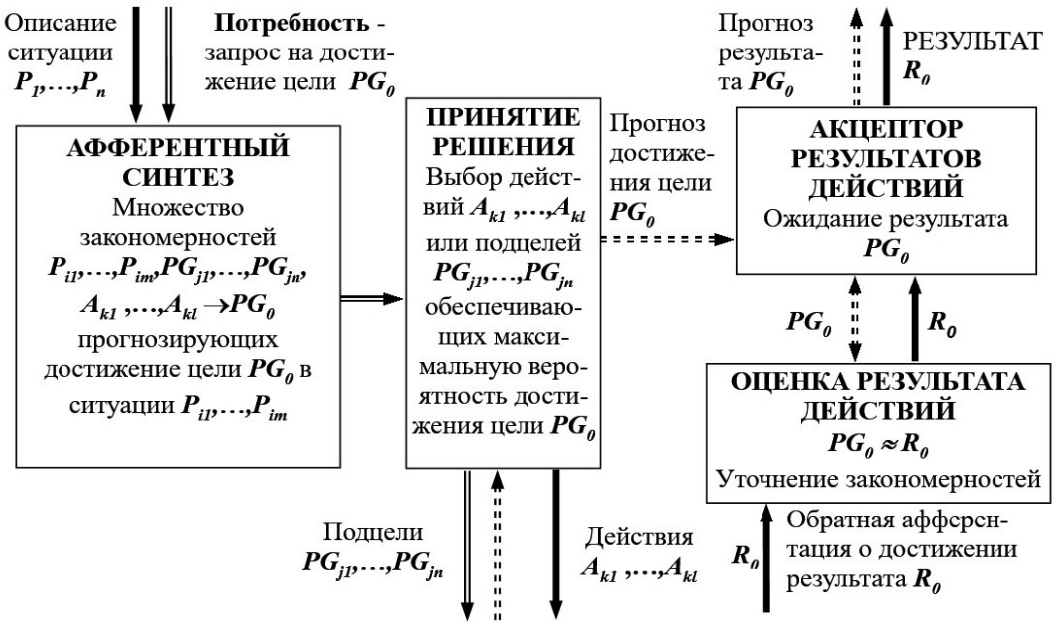



*Рис. 6. Схема функциональной системы*
*Fig. 6. Functional system diagram*
*圖 6. 功能係統圖*

Таким образом, формирование и работу функциональной системы можно объяснить формированием причинных связей между действием и его результатами.

В терминах МСПС причинных связей, схема работы функциональных систем выглядит следующим образом рис 6. [7,31]. Потребность будем рассматривать как запрос к функциональной системе на достижение цели, обозначенной предикатом $PG_0$. Этот запрос поступает в блок афферентного синтеза и для функциональных систем, не имеющих функциональных подсистем, извлекает из памяти причинные связи вида $P_{i1},\ldots,P_{im},A_{k1},\ldots,A_{kl} => PG_0$, приводящие к достижению цели $PG_0$, где $P_{i1},\ldots,P_{im}$ – свойства обстановки необходимые для достижения цели, а $A_{k1},\ldots,A_{kl}$ – последовательность действий, приводящая к цели. При этом свойства $P_{i1},\ldots,P_{im}$ должны присутствовать в свойствах обстановки $P_1,\ldots,P_n$, поступающими в блок афферентного синтеза. Для иерархически организованных функциональных систем этот запрос извлекает из памяти МСПС причинные связи более сложного вида $P_{i1}, \ldots,P_{im},PG_{j1},\ldots,PG_{jn},A_{k1},\ldots,A_{kl} => PG_0$, включающие в себя запросы на достижение подцелей $PG_{j1},\ldots,PG_{jn}$.

Далее извлеченные правила поступают в блок принятия решений, где по каждому из правил осуществляется прогноз достижения цели и вычисляется оценка вероятности достижения цели. Прогноз по правилам, где только действия, осуществляется по вероятности самого правила. Прогноз по правилам с запросами к подцелям осуществляется путем отправки этих запросов в функциональные подсистемы, принятием в них решений и получением от них вероятностей прогноза достижения соответствующих подцелей. Результирующая вероятность прогноза вычисляется произведением вероятности правила на вероятности достижения подцелей. После этого осуществляется принятие решения о способе достижения цели и выбирается правило, имеющее максимальную вероятность прогноза достижения цели.

Затем формируется план действий, включающий все действия, включенные в правило и все действия, которые есть в функциональных подсистемах. Одновременно с планом действий формируется аппарат акцептора результатов действия, включающий ожидание всех спрогнозированных подрезультатов в функциональных подсистемах, а также в самой функциональной системе. После этого план действий начинает выполняться, а ожидаемые результаты сравниваться с получаемыми результатами.

Если все подрезультаты и конечный результат достигнуты и совпали с ожидаемыми результатами, то само правило и все правила функциональных подсистем, которые были выбраны в процессе принятия решений подкрепляются и их вероятность увеличивается. Если в какой-то подсистеме результат не достигнут, то соответствующее правило этой функциональной подсистемы штрафуется. Тогда возникает ориентировочно-исследовательская

реакция, которая пересматривает принятое решение. Данная модель успешно применялась для моделирования аниматов [11,16,31].

## 8. *Сознание как механизм разрешения противоречий*

Рассмотрим теперь ***третий уровень точности предсказаний***, обеспечивающийся информационной теорией сознания – сознанию как механизму разрешения противоречий.

Мир многогранен как алмаз рис. 7 и не существует его единого непротиворечивого описания и функция сознания – правильно выбрать соответствующий контекст, в рамках которого можно получить максимально точное предсказание. В науке такими контекстами являются парадигмы, формирующими определенный взгляд, точку зрения и соответствующую систему понятий той или иной теории. Эти парадигмы, как правило, не совместимы между собой.

Такую точку зрения на сознания также высказывает В.М.Аллахвердов [2]. В своей работе [1] он пишет: «Сознание, столкнувшись с противоречивой информацией, пытается удалить эту информацию с поверхности сознания или так ее видоизменить, чтобы противоречие исчезло или перестало осознаваться как противоречие». В этой работе он приводит 7 случаев разрешения противоречий сознанием. Все эти случаи объясняются работой или взаимодействием вероятностных формальных понятий, которые определяют рассматриваемые понятия или контексты. Рассмотрим для краткости два из них:

**1. Случай 1**. Самый простой способ избавиться от противоречия или двусмысленности — выбрать для осознания какую-то одну интерпретацию, а все остальные (несовместимые с ней) не осознавать (негативно выбрать).

**Пример**. Явление бинокулярной конкуренции, когда испытуемому одновременно предъявляются на разные глаза разные стимулы. Если предъявлять два изображения, одно из которых является более вероятным или более знакомым, испытуемые преимущественно видит только его.

**Объяснение**. Вероятностное формальное понятие взаимно предсказывает свойства, входящие в понятие, а также отрицание других свойств, которых в нем не должно быть и тем самым вытормаживает альтернативы.

**2. Случай 2.** При осознании разных сторон противоречия делается попытка найти способ объяснения — соединение разных сторон в непротиворечивое целое.



*Рис. 7. Многогранная реальность*
*Fig. 7. Multifaceted reality*
*圖 7. 多層面的現實*

**Пример**. В условиях бинокулярной конкуренции, если предъявить на один глаз красный круг, а на другой — черный треугольник, то испытуемый увидит черный треугольник на красном фоне.

**Объяснение**. Если воспринимаемые признаки не противоречат друг другу и не вытормаживают друг друга, то могут образовать объединенное вероятностное формальное понятие и соответственно восприниматься.

Во всех случаях можно правильно выбрать наиболее подходящее вероятностное формальное понятие или контекст для разрешения противоречия и получения наиболее точного предсказания в соответствии с причинными связями выбранного понятия или контекста.

## 1. *Introduction*

The non-reductionist theory of consciousness is not reducible to any theory of reality and to any physiological or psychological theory.

At the Seventh International Conference on Cognitive Science, K.V.Anokhin said "The problem is not that the existing neurophysiological theories are imperfect ... The correlative approaches used in them simply cannot answer questions about the nature of mind and subjective experience ... This requires a non-reductionist fundamental theory" [3].

Max Tegmark in his book [14] also write that between the external reality "External Reality" and "Internal Reality" there should be an intermediate "Consensus Reality", describing the external reality in physical terms and at the same time is reflected in

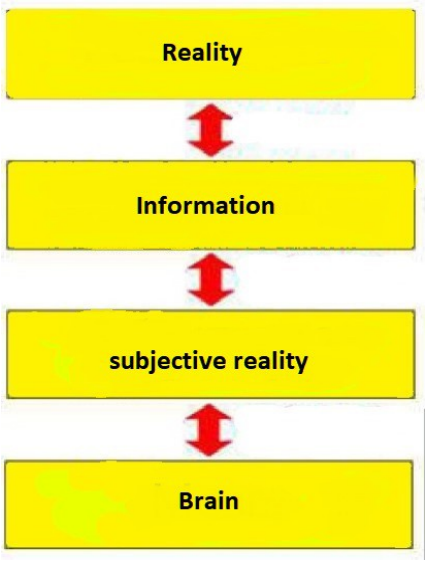



*Fig. 1. Consciousness and Brain*

the internal reality.

Following D.I. Dubrovsky [10], we will use an "informational approach" to the description of "Internal Reality" as a *subjective reality*. Herewith, the subjective reality is the reality of an individual's conscious states – sensations, perceptions, feelings, thoughts, intentions, desires, etc. At the same time, the phenomena of subjective reality are considered as information related to the corresponding brain process as its carrier.

Thus, within this framework of the information approach to the "Mind-Brain Problem", we get the following scheme fig. 1., where reality is described through information about observed phenomena, which are perceived by subjective reality through sensations, perceptions, feelings, etc., which in turn are information about the corresponding brain processes.

What is the purpose of this information? Most precisely, it is defined in the "principle of the evolution of the living world", formulated by P.K. Anokhin: "There was one universal pattern in the adaptation of organisms to external conditions, which later developed rapidly throughout the evolution of the living world: a highly rapid reflection of the slowly unfolding events of the external world" [5].

Let us reveal this principle and formulate the principles of creating an information theory of consciousness.

I. First, following the "principle of the evolution of the living world", this information theory should anticipate the events of the outside world.

However, if the external world were accidental, then anticipation of it would be impossible. But our world is well structured. If there are any laws in the information structure of reality, then it is natural to assume that in the process of evolution there were developed such neurobiological mechanisms that would use these structures to produce the most accurate reflection of reality. Therefore, the following principle is necessary.

II. The information theory of reflection should be based on the laws of the structure of the external world and describe simultaneously both the information structure of reality and neurophysiological and other mechanisms that ensure the reflection of this structure in terms of subjective reality.

The following laws of the information structure of reality will be given. The corresponding neurobiological mechanisms that use these structures were indicated by K.V. Anokhin in his report "Cognitome – hypernetwork model of the brain". These are KOGi (Cognitive Groups of Neurons), generalizing the ideas of the functional systems theory and D. Hebb's cellular ensembles [17].

We propose the following fundamental principle of the Information Theory of Consciousness (ITS), which is sufficient to explain the basic information processes:

**THE PRINCIPLE OF unlimited inference**: ***The brain detects all possible causal connections in the external world and makes all possible conclusions on them.***

It turns out that this principle is sufficient to build an ITS, which:

1. Explains the structure and functioning of KOGs of functional systems and D. Hebb's cellular ensembles.
2. Based on the following information laws of the structure of the external world.
3. Provides maximum accuracy of predictions and anticipations of reality.
4. Resolves emerging contradictions.
5. It is an information theory of reflection of reality by the brain.

## 2. *Causality*

Let's consider the first law of the information structure of the external world – its causality. Causality is a consequence of physical determinism: "for any isolated physical system, some of its state determines all subsequent states" [12]. But consider a car accident [12]. What is the reason for it? This may be the condition of the road surface, its humidity, the position of the sun relative to the driver, reckless driving, the psychological state of the driver, brake malfunction, etc. Obviously, there is no definite reason in this case.

In the philosophy of science, causality is reduced to prediction and explanation. "Causality means predictability ... if the entire previous situation is known, the event can be predicted ... if all the facts and laws of nature related to this event are given" [12]. It is clear that to know all the facts, the number of which, as in the case of an accident, is potentially infinite and all the laws are impossible. In addition, humans and animals learn the laws of the outside world through training. Therefore, causality is reduced to prediction by inductive statistical inference, when the prediction is derived from facts and statistical laws with some probability.

In addition, causal relationships in the form of statistical laws found on real data or as a result of training face to the problem of statistical ambiguity – contradictory predictions can be derived from them [18]. To avoid this ambiguity, Hempel introduced the requirement of maximum specificity [18], informally consisting in the fact that statistical laws should include the maximum available information.

We solved the problem of statistical ambiguity and determined the Maximum Specific Causal Relationships (MSCR), for which it was proved that inductive statistical inference using them does not lead to contradictions [28,32] and thereby most accurately implement the principle of evolution of the living world by P.K.Anokhin. We have developed a special semantic probabilistic inference [28,32] that detects MSCR. In particular, it satisfies Cartwright's definition of a probabilistic causal relationship with respect to some background, which consists in the fact that each condition of the premise of causal relationship strictly increases the conditional probability of the conclusion. In addition, we have developed a formal neuron model [30] satisfying the Hebb`s rule, which implements this inference and detects MSCR

causal relationships [28,32].

Thus, accurately analyzing the concept of causality, we get the informational law of reality that can be represented in ITS by detecting causal connections at the level of a neuron, ensuring its plasticity and manifesting itself, in particular, by conditional reactions. At the same time, they can be as accurate as possible through the use of MSCR conditional links.

This provides the ***first level of the maximum accuracy of predictions*** and anticipations of reality, implementing the principle of anticipatory reflection of reality.

### 3. *"Natural" classification*

Let's move on to the next law of the informational structure of the external world objects – the "natural" classification. The first rather detailed analysis of the "natural" classification belongs to J.S. Mill [21]. First, we will separate the "artificial" classifications from the "natural" ones: "Let's take any attribute, and if some things have it and others do not, then we can base the division of all things into two classes on it.", "But if we turn to ... the class of "animal" or "plant", ... then we will find that in this respect some classes are very different from others. ... have so many features that they cannot be ... enumerated" [21].

J.S. Mill defines the "natural" classification as follows: "Most of all, it corresponds to the goals of scientific (natural) classification when objects are combined into such groups regarding which the greatest number of general proposals can be made" [21]. Based on the concept of "natural" classification, J. S. Mill defines the concept of an "image" of a class as a certain pattern that has all the characteristics of this class.

Naturalists wrote that the creation of a "natural" classification consists in "indication" – from an infinitely large number of features it is necessary to move to a limited number of them, which would replace all other features [13]. This means that in "natural" classes, the attributes are strongly correlated, for example, if there are 128 classes and the attributes are binary, then only 7 attributes can be independent "indicator" attributes among them, since $2^7 = 128$, and other attributes can be predicted by the values of these 7 attributes. We can choose various 7-10 attributes as "indicator" and then other attributes, of which there are potentially infinitely many, can be predicted from these selected attributes. Therefore, there is an exponential (relative to the number of attributes) number of causal relationships linking the attributes of objects of "natural" classes.

Such redundancy of information, but already when perceiving objects of the external world, is confirmed in cognitive sciences when considering "natural" concepts.

## 4. *"Natural" concepts in cognitive sciences*

The highly correlated structure of the objects of the external world is also revealed by the theory of "natural" concepts. "Natural" classification reveals the structure of the objects of the external world, and "natural" concepts, studied in cognitive sciences, determine the perception of these "natural" objects as elements of subjective reality.

In the works of Eleanor Rosch, the following principle of categorization of "natural" categories was formulated: «Perceived World Structure … is not an unstructured total set of equiprobable co-occurring attributes. Rather, the material objects of the world are perceived to possess … *high correlational structure* … combinations of what we perceive as the attributes of real objects do not occur uniformly. Some pairs, triples, etc., are quite probable, appearing in combination … with one, sometimes another attribute; others are rare; others logically cannot or empirically do not occur» [25].

Directly perceived objects (basic objects) are information–rich bundles of observable properties that create categorization (an image in the J.S. Mill definition): «Categories can be viewed in terms of their clear cases if the perceiver places emphasis on the *correlational structure of perceived attributes* … By prototypes of categories we have generally meant the clearest cases of category membership» [24].

In further research, it was found that models based on features, similarities and prototypes are not enough to describe "natural" classes. Considering these studies, Bob Rehder put forward a theory of causal models, according to which: "people's intuitive theories about categories of objects consist of a model of the category in which both a category's features and the causal mechanisms among those features are explicitly represented" [23]. In the theory of causal models, the relation of an object to a category is no longer based on a set of signs and proximity by signs, but on the basis of the similarity of the generative causal mechanism.

Bob Rehder used Bayesian networks to represent causal knowledge [22]. However, they do not support cycles and therefore cannot model cyclic causal relationships. The formalization we propose further in the form of probabilistic formal concepts directly models cyclic causal relationships [5-8,28-29,32].

## 5. *The integrated information theory by G.Tononi*

The theory of integrated information by G.Tononi is also based on the highly correlated structure of the external world [20,26-27]. If the "natural" classification describes objects of the external world, and cognitive sciences describe the perception of objects of the external world, then the theory of integrated information analyzes the information processes of the brain on the perception of objects of the external world.

Integrated information is considered by G.Tononi as a property of a system of cyclic causal relationships: «Indeed, a “snapshot” of the environment conveys little information unless it is interpreted in the context of a system whose complex causal structure, over a long history, has captured some of the causal structure of the world, i.e. long-range correlations in space and time» [27].

The relationship of integrated information with reality G.Tononi describes as follows: «Cause-effect matching … measures how well the integrated conceptual structure … fits or ‘matches’ the cause-effect structure of its environment», «… matching should increase when a system adapts to an environment having a rich, integrated causal structure. Moreover, an increase in matching will tend to be associated with an increase in information integration and thus with an increase in consciousness» [26-27].

G.Tone defines consciousness as a primary concept that has the following phenomenological properties: composition, information, integration, exclusion [20,26-27]. We present the formulations of these properties together with our interpretation of these properties (given in parentheses) from the point of view of "natural" classification of the external world objects.

1. composition – elementary mechanisms (causal interactions) can be combined into higher-order ones ("natural" classes form a hierarchy);

2. information – only mechanisms that specify 'differences that make a difference' within a system count (only the system of "resonating" causal relationships forming the class is significant);

3. integration – only information irreducible to non-independent components counts (only the system of "resonating" causal relationships is significant, which not reducible to the information of individual components, indicating an excess of information and the perception of a highly correlated structure of a "natural" object);

4. exclusion – only maxima of integrated information count (only values of features that are maximally interconnected by causal relationships form an "image" or "prototype").

Unlike G.Tononi, we consider these properties not as internal properties of the system, but as the ability of the system to reflect the "natural" classification of the objects of the external world. Then consciousness, unlike G.Tononi, is defined not by the phenomenological properties of neural structures, but as the ability of the brain, using the integrated information of neural structures, to reflect the world represented by a hierarchical "natural" classification and the system of "natural concepts" and their causal models.

## 6. *Formalization of "natural" classification, "natural" concepts and consciousness as integrated information by G.Tononi*

In accordance with the Principle of unlimited inference, the brain carries out all possible conclusions on causal relationships. These causal relationships, of which there is an exponential number, in the process of perceiving "natural" objects, loop on themselves, forming a certain "resonance", which is a system with highly integrated information in the sense of G.Tononi. At the same time, "resonance" occurs if and only if these causal relationships reflect some "natural" object in which a potentially infinite set of features mutually assume each other. The resulting cycles of conclusions on causal relationships are mathematically described by "fixed points", which are characterized by the fact that further application of conclusions to the properties under consideration does not predict new properties. The set of mutually related properties obtained at a fixed point gives the "image" of the class or "prototype" of the concept and its "causal model". Therefore, the brain perceives a "natural" object not as a set of features, but as a "resonating" system of causal connections that close on themselves through the simultaneous inference of the entire set of features of the "image" or "prototype" forming a "causal model".

It can be shown that the MSCR causal relationships organized into cellular ensembles make it possible to identify objects of the external world as reliably as possible and then predict the properties of these objects as accurately as possible using this identification, since only MSPS causal relationships related to this class are used for predictions. This forms a ***second***, even more accurate, from the point of view of forecasting, ***level of organization of information processes***.

We propose a fundamentally new mathematical apparatus for determining integrated information, "natural" classification and "natural" concepts. Our formalization is based on a probabilistic generalization of the formal concepts analysis [8, 29-32]. Formal concepts can be defined as fixed points of deterministic rules (with no exceptions) [19]. But, as J. Mill wrote: "Natural groups ... are determined by features, ... while taking into account not only the features that are certainly common to all the objects included in the group, but the whole set of those features, of which all occur in most of these objects, and the majority in all." Therefore, it is necessary to get away from deterministic rules and replace them with probabilistic ones in order to determine the features not exactly, but for the majority. Therefore, we generalize formal concepts to the probabilistic case, replacing deterministic rules with MSPS causal relationships and defining probabilistic formal concepts as fixed points of these maximally specific rules [8, 29-32]. Due to the fact that the conclusions, based on the most specific causal relationships are consistent, the resulting fixed point will also be consistent and will not contain both a feature and its negation, i.e. such a definition of probabilistic formal concepts is correct.

It can be shown [9] that probabilistic formal concepts adequately formalize "natural" classification and, in moreover, the resulting "natural" classification satisfies all the requirements that naturalists imposed on "natural" classifications [9].

Let's consider an example of computer simulation of the "natural" classes, "natural" concepts and integrated information discovery for the encoded digits. Let X($a$) – be the set of properties of object $a$ given by some set of predicates, and let $(P_{i_1} \wedge ... \wedge P_{i_k} \Rightarrow P_{i_0}) \in MS(X)$ – be the set of MSPS of causal relationships performed for properties X, $\{P_{i_1} \wedge ... \wedge P_{i_k} \Rightarrow P_{i_0}\} \subset X$ then the prediction operator Pr and the fixed point can be written as follows [6, 9]: $Pr(X) = \Phi_{Krit}(X \cup \{P_{i_0} | (P_{i_1} \wedge ... \wedge P_{i_k} \Rightarrow P_{i_0}) \in MS(X)\} \cup \{\neg P_{i_0} | (P_{i_1} \wedge ... \wedge P_{i_k} \Rightarrow \neg P_{i_0}) \in MS(X)\})$ where $\Phi_{Krit}(X)$ – is an operator that modifies the set of features X by adding or removing some feature, so that a certain criterion Krit of mutual consistency of causal relationships by mutual prediction of features from X is maximal [6,9]. The *Krit* criterion measures the informational integration of features according to the system of causal relationships differently than it is done in the G.Tononi's theory. A fixed point is reached when $Pr^{n+1}(X(a)) = Pr^n(X(a))$ , for some n, where $Pr^n$ – n is a multiple application of the operator Pr. Since with each application of the operator *Pr*, the value of the *Krit* criterion increases and reaches a local maximum at a fixed point, then a fixed point, which reflect some "natural" object, has a maximum of integrated information and the "exclusion" property according to G.Tononi.

Let us encode the digits as shown in fig. 2. and form a training set, consisting of 360 shuffled digits (12 digits of fig. 2 duplicated in 30 copies without specifying where which digit is). On this set, a semantic probabilistic inference revealed 55089 MSCR causal relationships – general statements about objects that J.S. Mill spoke about. According to these causal relationships, exactly 12 fixed points were found that correspond to numbers.

An example of a fixed point for the digit 6 is shown in fig. 3. Consider what this fixed point is. Let's number the signs of the digits as shown in Fig. 2. The first pattern of figure 6 in fig. 3, represented in the first rectangle after the curly bracket, means that if there is a sign 6 in square 13 (let's denote it as 13-6), then there should be a sign 2 in square 3 (let's denote it as (3-2)). The predicted sign is indicated by a dotted line. Let's write this causal relationship as (13-6 $\Rightarrow$ 3-2). It is not difficult to verify that this causal relationship is carried out on all figures. The second causal relationship means that from the sign (9-5) and the negation of the value 5 of the first sign ¬(1-5) (the first sign should not be equal to 5), the sign (4-7) follows. Negation is indicated in the figure by a dotted line, as shown at the bottom of fig. 3. We get a causal relationship (9-5&¬(1-5) $\Rightarrow$ 4-7). The next 3 causal relationships in the first row of the digits 6 will be respectively (13-6 $\Rightarrow$ 4-7), (17-5&¬(13-5) $\Rightarrow$ 4-7), (13-6 $\Rightarrow$ 16-7).

Fig. 3 shows that the causal relationships and the signs of the number 6 form a fixed point – mutually predict each other. Note that the causal connections used in the fixed point are fulfilled on all digits, and the fixed point itself identifies only the digit 6. This illustrates the phenomenological property 2 'differences that make a

difference', in which the system of causal connections perceives "realizes" an integral object. Therefore, the figures are distinguished not by causal relationships in themselves, but by their systemic relationship.

A fixed point forms a "prototype" according to Eleanor Rosch or an "image" according to J. S. Mill. The program does not know in advance which combinations of features are maximally correlated with each other.

Probabilistic formal concepts describe not only "natural" concepts, but also contexts. Contexts also have the property of maximum prediction accuracy – causal relationships found on a certain context and its causal model will more accurately predict the properties of this context.

Consider the following example on fig. 4, containing both numbers and letters. You can learn only on numbers and build probabilistic formal concepts of numbers, you can learn on letters and build probabilistic concepts of letters only, and you can learn both on numbers and letters and build formal concepts of numbers and letters. In each of these cases, various MSCR causal relationships will be found, but MSCR causal relationships describing numbers and letters together will contain additional signs separating them from each other, which is obtained automatically by MSCR causal relationships. When considering (in context) both letters and numbers of MSCR causal relationships will have a higher probability, then MSCR on numbers or letters and therefore they will be triggered in the formal model of the neuron. Our formal neuron model, which detects the most specific causal connections [30], follows the well–known physiological property of neurons - more probable conditional stimuli are triggered faster in time.

## 7. *Theory of functional systems*

The formalization of the second type KOGs – the KOGs of functional systems, is based on the consideration of purposeful behavior, which is carried out by developing conditional (causal) links between the actions and its results. These conditional connections are sufficient for modeling functional systems and developing animats.

P.K. Anokhin wrote that "We are talking about the collateral branches of the pyramidal tract, diverting to many neurons "copies" of impulsations that go to the pyramidal tract" [4-5]. Thus, when a motor neuron sends a signal to the muscles about some action, copies of this excitation are sent, including to the projection zones, which can record the result of the action performed. Therefore, the brain detects all causal connections between actions and their results.

We show in the diagram fig. 5 that this is sufficient to explain the basic mechanisms of the functional systems of the brain formation [7, 31]. Let's assume that we have no experience yet and a motivational excitement has arisen, shown by the black triangle. Then, to meet the need by trial and error, we can do some action that will be activated by some neuron, indicated by a white triangle. Simultaneously

with the activation of this action, a "copy" of the excitation of this neuron will be sent to the projection zones, where there will be a neuron that will react to the result of the action received from the outside world. Since this neuron will first receive excitation from the activation of an action by a white neuron, it will form a conditional relation between the activation of an action by a white neuron and the result obtained. If now, after receiving this result that has changed the situation, we carry out some next action, also indicated by a white triangle, then we will get the following result, for which there will also be a neuron that will react to the result of this action. If, as a result, the need was satisfied and the goal is achieved, then the entire chain of active neurons and conditional connections that led to the result will be reinforced and stored in the memory. Thus, there will be an internal contour of forecasting the results achievement by the causal relationships. Then, at the next occurrence of motivational excitement, this chain of actions will be extracted from memory and will predict the achievement of the result along the inner contour even before any actions. So an action plan will be formed, which, according to the inner contour, as stated in the quote by P.K. Anokhin, activates neurons waiting for the results of actions, which will form an *acceptor of the results of actions*, studied in detail in the theory of functional systems. Thus, the formation and operation of the functional system can be explained by the formation of causal relationships between the action and its results.

In terms of MSCR causal relationships, the scheme of functional systems is as follows fig. 6. [7, 31]. We consider the need as a request to the functional system to achieve the goal indicated by the predicate $PG_0$. This request enters the afferent synthesis block and, for functional systems that do not have functional subsystems, extracts causal relationships of the form $P_{i1},\ldots,P_{im},A_{k1},\ldots,A_{kl} \Rightarrow PG_0$ from memory, leading to the goal $PG_0$ achievement, where $P_{i1},\ldots,P_{im}$ are the properties of the environment necessary to achieve the goal achievement, and $A_{k1},\ldots,A_{kl}$ – a sequence of actions leading to the goal. At the same time, the properties of $P_{i1},\ldots,P_{im}$ must be present in the properties of the environment $P_1,\ldots,P_n$ entering the afferent synthesis block. For hierarchically organized functional systems, this query extracts causal relationships of a more complex type $P_{i1},\ldots,P_{im},PG_{j1},\ldots,PG_{jn},A_{k1},\ldots,A_{kl} \Rightarrow PG_0$ from the MSCR memory, including requests to achieve the sub-goals $PG_{j1},\ldots,PG_{jn}$.

Then the extracted rules are sent to the decision-making block, where forecast of the goal achievement is made for each rule and a probability estimation of the goal achievement is calculated. Prediction according to the rules, where only actions are performed, is carried out according to the probability of the rule itself. The forecast according to the rules which requests sub-goals is carried out by sending these requests to functional subsystems, decision-making in them and receiving from them the probability estimations of the corresponding sub-goals achievement. The resulting probability of the forecast is calculated by the product of the probability of the rule on the probability of achieving of its sub-goals. After that, a decision is made by the rule selecting that has the maximum probability estimation of the goal achievement.

Then an action plan is formed, including all the actions included in the rule and all the actions that are in the functional subsystems. Simultaneously with the action plan, the acceptor of the actions result is formed, including the expectation of all predicted sub-results in functional subsystems, as well as in the functional system itself. After that, the action plan begins to be implemented, and the expected results are compared with the results obtained.

If all the sub-results and the final result are achieved and coincide with the expected results, then the rule itself and all the rules of the functional subsystems that were selected in the decision-making process are reinforced and their probability increases. If the result is not achieved in some subsystem, then the corresponding rule, selected by decision-making block, of this functional subsystem is penalized. Then there is a tentative research reaction that revises the decision. This model has been successfully used to model animates [11, 16, 31].

## 8. *Consciousness as the tool for resolving contradictions*

Let us consider the ***third level of prediction accuracy*** provided by the information theory of consciousness – consciousness as a mechanism for resolving contradictions.

The world is multifaceted like a diamond fig. 7 and there is no single consistent description of it, and the function of consciousness is to choose the appropriate context correctly, within which you can get the most accurate prediction. In science, such contexts are paradigms that form a certain view, point of view and the corresponding system of concepts of a particular theory. These paradigms, as a rule, are not compatible with each other.

This point of view on consciousness is also expressed by V.M. Allakhverdov [2]. In his work [1] he writes: "Consciousness, faced with contradictory information, tries to remove this information from the surface of consciousness or modify it so that the contradiction disappears or ceases to be perceived as a contradiction." In this work, he cites 7 cases of resolving contradictions by consciousness. All these cases are explained by the properties or interaction of probabilistic formal concepts that define the concepts or contexts in question. Let 's consider two of them for brevity:

**1. Case 1**. The easiest way to get rid of contradiction or ambiguity is to choose one interpretation for awareness, and not to realize all the others (incompatible with it) (negatively choose).

***Example***. The phenomenon of binocular competition, when different stimuli are simultaneously presented to the different eyes to the subject. If two images are presented, one of which is more likely or familiar, the subjects mostly see only it.

***Explanation***. A probabilistic formal concept mutually predicts the properties included in the concept, as well as the negation of other properties that should

not be in it, and thereby inhibits alternatives.

**2. Case 2**. When realizing the different sides of the contradiction, an attempt is made to find a way of explanation — the connection of different sides into a consistent whole.

***Example***. In the conditions of binocular competition, if you present a red circle on one eye and a black triangle on the other, the subject will see a black triangle on a red background.

***Explanation***. If the perceived features do not contradict each other and do not inhibit each other, then they can form a combined probabilistic formal concept and be perceived accordingly.

In all cases, it is possible to correctly choose the most appropriate probabilistic formal concept or context to resolve the contradiction and obtain the most accurate prediction in accordance with the causal relationships of the chosen concept or context.

## 8. 介紹

非還原論的意識理論不能還原為任何現實理論以及任何生理或心理學理論。

在第七屆國際認知科學會議上，K.V. Anokhin 在報告中表示，「問題不在於現有的神經生理學理論不完善…其中使用的相關方法根本無法回答有關心靈本質和主觀體驗的問題。．．因為這需要一個非還原性的基本理論”[3]。

Max Tegmark 在他的書[14]中也寫道，在外部現實“外部現實”和“內部現實”之間必須有一個中間現實“共識現實”，它以物理術語描述觀察到的現實，並反映在內在現實中。

繼 D. I. 杜布羅夫斯基[10]之後，我們將使用「資訊方法」將「內在現實」描述為主觀現實。 同時，主觀現實是個體意識狀態的現實——感覺、知覺、感覺、思想、意圖、慾望等。 同時，主觀現實的現像被認為是與相應的大腦過程相關的訊息作為其載體。

因此，在「意識與大腦」問題的資訊方法框架內，我們得到如下圖所示：1. 其中，現實是透過有關觀察到的現象的資訊來描述的，這些現像是由主觀現實透過感覺、知覺、感覺等感知的，而這些訊息又是有關相應大腦過程的訊息。

這些資訊的目的是什麼？ P.K. Anokhin 提出的「生命世界進化原理」對此有著最精確的定義：「在生物體對外在條件的適應過程中出現了一種普遍模式並隨後在生命世界的整個進化過程中迅速發展：外部世界緩慢展開的事件的極其快速的反映”[5]。

讓我們揭示這一原理並制定建構意識資訊理論的原則。

一、首先，遵循“生命世界進化原理”，資訊理論必須預測外在世界的事件。

然而，如果外在世界是隨機的，那麼就不可能預測它。 但我們的世界結構良好。 如果現實的資訊結構存在一些規律，那麼很自然地可以假設，在演化過程中，這種神經生物學機制被發展出來，可以利用這些結構來提供對現實最準確的反映。 因此，以下原則是必要的。

二. 反映資訊理論應以外在世界的結構法則為基礎，同時描述現實的資訊結構以及保證這一結構在主觀現實方面的反映的神經生理學等機制。

下面我們將介紹現實訊息結構的這樣的規律。 K.V. 的報告「Cognitome – 大腦的超網路模型」中指出了與它們相對應的神經生物學機制以及使用這些結構。 阿諾金。 這些是 COG（神經元認知組），概括了 D. Hebb 的功能係統和細胞整體理論［17］。

這項工作提出了意識資訊理論（ITC）的以下基本原理，足以解釋所提到的主要資訊過程：

**無限制推理原理：大腦偵測外在世界所有可能的因果關係，並從中得出所有可能的結論。**

**事實證明，這項原則足以建構意識資訊理論，該理論：**

**1. 解釋 D. Hebb 的功能係統和細胞群的結構和功能。**

**2. 基於下面給出的外在世界結構的資訊規律。**

**3. 提供最準確的預測和現實。**

**4. 化解新出現的矛盾。**

**5. 是關於大腦如何反映現實的資訊理論。**

## 9. 因果關係

讓我們考慮外在世界資訊結構的第一定律——因果關係。 因果關係是物理決定論的結果：「對於任何孤立的物理系統，其某些狀態決定所有後續狀態」[12]。 但考慮一下一場車禍[12]。 其原因何在？ 這可能是路面狀況、濕度、太陽相對於駕駛者的位置、魯莽駕駛、駕駛者的心理狀態、煞車故障等 顯然，在這種情況下沒有具體的原因。

在科學哲學中，因果關係被簡化為預測和解釋。 「因果意味著可預測性…如果已知整個先前的情況，則可以預測事件…如果給出與該事件相關的所有事實和自然法則」[12]。 顯然，不可能知道所有的事實，就像事故的情況一樣，事實的數量可能是無限的，並且了解所有的法律。 此外，人類和動物透過訓練來學習外在世界的規律。 因此，因果關係歸結為使用歸納統計推理的預測，即預測是從具有一定機率的事實和統計規律得出的。

此外，在實際數據中發現的統計規律形式的因果關係或作為訓練結果的因

果關係面臨著統計模糊性的問題——可能從中得出不一致的預測[18]。 為了避免這種歧義，Hempel 引入了最大特異性的要求 [18]，非正式地包括這樣的事實：統計法應包括最大程度的可用資訊。

我們解決了統計模糊性問題，並確定了最大特定因果關係（MSPL），已證明使用它們進行歸納統計推理不會導致矛盾[28,32]，從而最準確地實現了該原理生命世界的進化 P.K. Anokhin。 我們開發了一種特殊的語意機率推理 [28,32] 來檢測 MSPS。 特別是，它滿足卡特賴特相對於某些背景的機率因果關係的定義[15]，即因果關係的每個前提條件嚴格地增加了結論的條件機率。 我們還開發了一個滿足 Hebb 規則的正式神經元模型 [30]，該模型執行這一結論並檢測 MCPS 因果關係 [28,32]。

因此，透過準確分析因果關係的概念，我們發現這種現實的資訊規律可以透過檢測神經元層面的因果關係在 ITS 中表示，確保其可塑性並在特別是條件反應中表現出來。 同時，透過使用 IMS 條件鏈接，它們可以盡可能準確。

這提供了對現實的預測和預期的第一級最大準確性，實現了對現實的高級反映的原則。

## 10. “自然”分類

讓我們繼續討論外在世界物件資訊結構的下一個法則—「自然」分類。第一個對「自然」分類進行足夠詳細的分析屬於 J. St. 磨坊[21]。 首先，讓我們把「人為」的分類與「自然」的分類分開：「讓我們取任何一個符號，如果某些事物擁有它，而另一些事物則沒有，那麼就可以根據它來將所有事物分為兩類。” 「但是，如果我們轉向…『動物』或『植物』類別，…我們會發現，在這方面，某些類別與其他類別有很大不同。 ……具有如此多的特徵，以至於它們無法...被列出”[21]。

J. St. 的「自然」分類 穆勒將其定義如下：「當物件被組合成可以提出最多數量的一般命題的群體時，它最符合科學（自然）分類的目的」[21]。 基於 J. St. 的「自然」分類概念 穆勒將類別「圖像」的概念定義為具有給定類別的所有特徵的特定樣本。

自然主義者寫道，「自然」分類的創建包括「指示」——必須從無限的特徵轉移到有限數量的特徵，這將取代所有其他特徵[13]。 這意味著在「自然」類中，屬性是高度相關的，例如，如果有 128 個類，並且屬性是二元的，那麼其中只有 7 個屬性可以是獨立的「指標」屬性，因為 27 = 128 可以根據這 7 個屬性的值來預測其他屬性。 我們可以選擇 7-10 個不同的屬性作為“指標”，然後可以從這些選定的屬性中預測可能有無限多個的其他屬性。 因此，連接「自然」類別物件屬性的因果關係數量呈指數級（相對於屬性數量）。

認知科學在分析「自然」概念時證實了感知外在世界物件時的這種資訊冗餘。

## 11. 認知科學中的「自然」概念

「自然」概念理論也揭示了外在世界的高度相關結構。 同時，「自然」分類揭示了外在世界物體的結構，認知科學中研究的「自然」概念決定了對這些「自然」物體作為主觀現實要素的感知。

在 Eleanor Rosch 的著作中，制定了以下「自然」類別的分類原則：「感知世界結構…不是等機率共現屬性的非結構化總集。 相反，世界上的物質對像被認為擁有……高度相關的結構……我們所認為的真實對象的屬性的組合並不均勻地出現。 有些對、三元組等很可能與一個屬性、有時是另一個屬性組合出現； 其他的則很少見； 其他的在邏輯上不能或在經驗上不會發生”[25]。直接感知的物件（基本物件）是可觀察屬性的資訊豐富的集合，可以創建分類（J. St. Mill 定義中的圖像）：「如果感知者將重點放在物件上，則可以根據其清晰的情況來查看類別」感知屬性的相關結構…透過類別原型，我們通常指的是類別成員資格的最清晰案例」[24]。

在進一步的研究中，人們發現基於特徵、相似性和原型的模型不足以描述「自然」類別。 考慮到這些研究，Bob Rehder 提出了因果模型理論（因果模型理論），根據該理論：「人們關於物件類別的直觀理論由類別模型組成，在該模型中，類別的特徵和因果關係都包含在類別模型中。」這些特徵之間的機制得到了明確的體現”[23]。 在因果模型理論中，物件與類別的關係不再基於一組特徵和特徵的相似性，而是基於生成因果機制的相似性。

為了表示因果知識，Bob Rehder 使用貝葉斯網路 [22]。 但是，它們不支援循環，因此無法對循環因果關係進行建模。 我們進一步以機率形式概念的形式提出的形式化直接模擬循環因果關係[5-8, 28-29, 32]。

## 12. 綜合資訊理論 G. Tononi

G. Tononi 的整合資訊理論也是基於外在世界的高度相關結構[20, 26-27]。如果「自然」分類描述了外在世界的物體，認知科學描述了對外在世界物體的感知，那麼整合資訊理論則分析了大腦感知外在世界物體時的資訊過程。

G. Tononi 中的綜合資訊被認為是循環因果關係系統的屬性：「事實上，環境的『快照』傳達的訊息很少，除非它在一個系統的背景下進行解釋，該系統的因果結構很複雜，長期存在。歷史，已經捕捉了世界的一些因果結構，即空間和時間的長程相關性”[27]。

G. Tononi 將綜合資訊與現實的關係描述如下：“因果匹配……衡量綜合概

念結構……與其環境的因果結構的契合或‘匹配’程度”，“…… . 當系統適應具有豐富、綜合因果結構的環境時，匹配度應該會增加。 此外，匹配的增加往往與資訊整合的增加有關，從而與意識的增強相關”[26-27]。

G.托諾尼將意識定義為具有以下現象學屬性的主要概念：組成、資訊、整合、排除[20,26-27]。 讓我們從外部世界物件的「自然」分類的角度來展示這些屬性的表述以及我們對這些屬性的解釋（在括號中給出）。

1. 組合－基本機制（因果交互作用）可以組合成更高階的機制（物件的「自然」類別形成層次結構）；

2. 資訊－只有在系統中指定「產生差異的差異」的機制才算數（只有形成類別的「共振」因果關係系統才是重要的）；

3.整合－只有不可簡化為非相互依賴的組成部分的信息才算數（只有“共振”因果聯繫的系統才是重要的，不能簡化為單個組成部分的信息，表明信息過多以及對高度相關的結構的感知） “自然”物體）；

4.排除－僅綜合資訊計數的最大值（僅透過因果關係最大程度地互連的特徵的值形成「影像」或「原型」）。

與 G. Tononi 不同，我們認為這些屬性不是系統的內部屬性，而是系統反映外部世界物件「自然」分類的能力。 那麼，與托諾尼不同，意識不是由神經結構的現象學特性決定的，而是由大腦利用神經結構的綜合資訊來反映由系統中的分層「自然」分類所代表的世界的能力決定的. “自然概念”及其因果模型。

## 13. 根據 G. Tononi，「自然」分類、「自然」概念和意識作為綜合資訊的形式化

根據無限推理原理，大腦會根據因果關係做出所有可能的推理。 這些呈指數級數量的因果聯繫，在感知“自然”物體的過程中不斷循環，形成一定的“共振”，這是托諾尼意義上的信息高度集成的系統。 同時，當且僅當這些因果關係反映了某種完整的「自然」物件時，「共振」才會發生，其中潛在的無限數量的特徵相互預設。 基於因果關係得出的結論循環在數學上用「不動點」來描述，其特徵在於，將結論進一步應用於所考慮的屬性並不能預測新的屬性。 在固定點獲得的一組相互可預測的屬性給出了類別的「圖像」、概念的「原型」及其「因果模型」。 因此，大腦將「自然」物體感知為不是一組特徵，而是一個因果連結的「共振」系統，透過「影像」或「原型」的整套特徵的同時輸出來閉合自身形成「因果模型」。

可以證明，組織成細胞係綜的 MSPS 因果關係使得能夠最可靠地識別外部世界中的對象，然後使用這種識別盡可能準確地預測這些對象的屬性。 這樣

的預測更準確，因為只有屬於此類 MSPS 的因果關係才會用於預測。 從預測的角度來看，這形成了第二個、甚至更準確的資訊過程組織層級。

我們提出了一種全新的數學工具來定義綜合資訊、「自然」分類和「自然」概念。 我們的形式化是基於形式概念分析的機率概括[8,29-32]。 形式概念可以定義為確定性規則的固定點（沒有例外）[19]。 但是，正如 J. Mill 所寫，「自然群體……是由特徵決定的，……在這種情況下，不僅要考慮該群體中所有對象所共有的特徵，還要考慮整個集合這些特徵，所有這些特徵都存在於這些物體的大多數中，並且大多數- 在所有物體中」。 因此，有必要放棄確定性規則，代之以機率性規則，以便不精確地確定特徵，而是為大多數人確定特徵。 因此，我們將形式概念推廣到機率情況，以 MSPS 因果關係取代確定性規則，並將機率形式概念定義為這些最大具體規則的不動點[8,29-32]。 由於基於最具體的因果關係得出的結論是一致的，因此得到的不動點也將是一致的，並且不會同時包含符號及其否定，即 機率形式概念的這個定義是正確的。

可以證明[9]，機率形式概念充分形式化了「自然」分類，此外，所得的「自然」分類滿足自然科學家對「自然」分類的所有要求[9]。

考慮一個電腦模擬檢測「自然」類別、「自然」概念和編碼數字的整合資訊的範例。 讓 X(a)- 物件屬性集 $a$， 由一組謂詞給出，並且 $(P_{i_1}\wedge...\wedge P_{i_k}\Rightarrow P_{i_0})\in MS(X)$ - 為屬性建立的一組 MSPS 因果連接 X, $\{P_{i_1}\wedge...\wedge P_{i_k}\Rightarrow P_{i_0}\}\subset X$ 那麼預測算子 Pr 和不動點可以寫成如下[6,9]

$$Pr(X)=\Phi_{Krit}(X\cup\{P_{i_0}|(P_{i_1}\wedge...\wedge P_{i_k}\Rightarrow P_{i_0})\in MS(X)\}\cup\{\neg P_{i_0}|(P_{i_1}\wedge...\wedge P_{i_k}\Rightarrow\neg P_{i_0})\in MS(X)\})$$

在哪裡 $\Phi_{Krit}(X)$ - 透過加入或刪除某個特徵來修改一組特徵 X 的算子，使得從 X 中相互預測特徵的因果關係相互一致性的某個標準 Krit 最大 [6,9]。 Krit 標準根據因果關係系統來衡量特徵的資訊整合度 MS(X) 與 G. Tononi 的理論不同。 當達到固定點時 $Pr^{n+1}(X(a))=Pr^n(X(a))$ ,對於某些 n，其中 $Pr^n$ - $n$ $Pr$ 運算子的多次使用。 由於隨著算子 $Pr$ 的每次應用, Krit 準則的值都會增加並在固定點達到局部最大值，因此反映某個「自然」物件的固定點根據 G 具有最大的綜合資訊和「排除」屬性.托諾尼.

讓我們對數字進行編碼，如圖所示。 2. 讓我們建立一個由 360 個打亂的數字組成的訓練集（圖 2 中的 12 個數字，重複 30 個副本，但不標明哪個數字是哪個數字）。 在這個集合上，語意機率推理揭示了 55089 MSPS 的因果關係——關於 J. St. 談到的對象的一般陳述。 磨。 根據這些模式，準確地發現了 12 個與數字完全對應的固定點。

數字 6 的固定點示例如圖 1 所示。 3. 讓我們來考慮一下這個不動點是什麼。 讓我們對數字的符號進行編號，如圖所示。 2、圖 6 的第一個圖案 3，出現在大括號後的第一個矩形中，表示如果方格 13 包含屬性 6（表示為 13-

6），則方格 3 必須包含屬性 2（表示為（3-2））。預測的特徵以虛線表示。我們把這個因果關係寫成(13-6→3-2)。 很容易驗證這種因果關係適用於所有數字。 第二個因果關係意味著從符號（9-5）和第一個符號 ¬(1-5) 的值 5 的否定（第一個符號不應等於 5）得出符號（4-7）。 否定在圖中以虛線表示，如圖底部所示。 3. 我們得到因果關係 (9-5&¬(1-5) ⇒ 4-7)。 數字 6 第一行接下來的 3 個因果關係將是 (13-6 ⇒ 4-7), (17-5&¬(13-5) ⇒ 4-7), (13-6 ⇒ 16-7)、分別。

在圖中。 圖 3 顯示數字 6 的因果關係和符號形成一個固定點－它們互相預測。 請注意，固定點中使用的因果連接是在所有數字上進行的，而固定點本身僅突出顯示數字 6。這說明了現象學屬性 2“差異產生差異”，其中因果連接系統感知“實現”整個對象。 因此，這些數字的差異不是在於其本身的因果關係，而是在於它們的系統互連。

根據 Eleanor Rosch 的說法，固定點形成“原型”，或根據 J. St. 米盧。程式事先並不知道哪些特徵組合彼此最相關。

機率形式概念不僅描述「自然」概念，也描述上下文。 上下文還具有最大預測準確性的屬性——在某個上下文中發現的因果關係並構成其因果模型將更準確地預測該上下文的屬性。

考慮下面的範例圖。 4. 同時包含數字和字母。

您可以僅從數字學習並建立數字的機率形式概念，您可以從字母學習並僅建立字母的機率概念，或者您可以從數字和字母學習並建立數字和字母的形式概念。 在每種情況下，都會發現不同的 MSPS 因果關係，但是一起描述數字和字母的 MSPS 因果關係將包含將它們彼此分開的附加特徵，這是由 ASMS 因果關係自動獲得的。 當（在上下文中）同時考慮 ASHI 的字母和數字時，因果關係將比單獨考慮數字和字母的 ASHI 具有更高的機率，因此它們將在這種上下文中被觸發。 我們的正式神經元模型可以檢測最大程度的特定因果關係[30]，遵循神經元的已知生理特性—更可能的條件刺激會更快地及時觸發。

## 14. 功能係統理論

第二種類型的齒輪——功能係統的齒輪——的形式化是基於對目標導向行為的考慮，這是透過在行動與其結果之間建立條件（因果）聯繫來實現的。這些條件連接足以對功能係統進行建模和開發動畫。

甚至 P.K Anokhin 也寫道，「我們正在談論錐體束的側支分支，導致許多神經元「複製」那些傳出訊號到錐體束」[4-5]。 因此，當運動神經元向肌肉發送有關某些動作的信號時，該興奮的副本就會被發送，包括發送到投影區域投影區域可以記錄所執行動作的結果。 因此，大腦會檢測到行為與其結果之間的所有因果關係。

讓我們用圖 5 的圖表表明，這足以解釋大腦功能係統形成的基本機制[7,31]。 假設我們還沒有經驗，動機喚醒已經出現，如黑色三角形所示。 然後，為了滿足需求，透過反覆試驗，我們可以執行一些操作，該操作將由某個神經元激活，如白色三角形所示。 在激活該動作的同時，該神經元的興奮的「副本」將被發送到投影區域，其中將有一個神經元將對來自外界的動作結果做出回應。 由於同一個神經元首先會從白色神經元的動作活化中接收到激勵，因此它將在白色神經元的動作活化與所獲得的結果之間形成條件連接。 如果現在，在收到改變情況的結果後，我們執行一些下一個動作，也由白色三角形表示，那麼我們將得到下一個結果，對於該結果，還將有一個神經元對結果做出反應這個動作。 如果結果滿足了需求並實現了目標，那麼導致結果的整個活躍神經元鍊和條件連接將得到加強並儲存在記憶中。 因此，將出現根據因果關係實現結果的預測的內部輪廓。 然後，下一次發生動機喚醒時，將從記憶中檢索這一系列行動，並在採取任何行動之前預測內部迴路中結果的實現。這樣，就會形成一個行動計劃，沿著內部迴路，正如 P.K. Anokhin 所引用的那樣，激活等待行動結果的神經元，這將形成行動結果的接受者，詳細研究在功能係統理論。 因此，功能係統的形成和運作可以透過行為與其結果之間因果關係的形成來解釋。

就 MSPS 因果關係而言，功能係統的運作方案如下所示：圖 6。[7,31]。我們將把需求視為對功能係統的請求，以實現謂詞 PG0 指示的目標。 此請求進入傳入綜合模組，對於沒有功能子系統的功能係統，從記憶體中檢索 $P_{i1}$,…,$P_{im}$,$A_{k1}$,…,$A_{kl}$ => $PG_0$ 形式的因果關係，從而實現結果目標 $PG_0$，其中 $P_{i1}$,…,$P_{im}$ 是實現目標所需的環境屬性，$A_{k1}$,…,$A_{kl}$ 是實現目標的動作序列。 在這種情況下，屬性 $P_{i1}$,…,$P_{im}$ 必須存在於環境屬性 $P_1$,…,$P_n$ 中，進入傳入合成區塊。 對於分層組織的功能係統，此請求從 MSPS 的記憶體中檢索更複雜類型 $P_{i1}$,…,$P_{im}$,$PG_{j1}$,…,$PG_{jn}$,$A_{k1}$,…,$A_{kl}$ => $PG_0$ 的因果關係，包括要求實現子目標 $PG_{j1}$,…,$PG_{jn}$。

接下來，提取的規則進入決策區塊，其中針對每個規則對實現目標進行預測，並計算實現目標的機率估計。 基於規則的預測，在只有動作的情況下，是根據規則本身的機率進行的。根據對子目標的請求的規則進行預測是透過將這些請求發送到功能子系統，在它們中做出決策並從它們接收預測實現相應子目標的機率來進行的。透過將規則的機率乘以實現子目標的機率來計算得到的預測機率。之後，決定如何實現目標，並選擇具有最大機率預測目標實現的規則。

然後形成一個行動計劃，其中包括規則中包含的所有行動以及功能子系統中的所有行動。 在製定行動計畫的同時，形成了用於接受行動結果的裝置，其中包括對功能子系統以及功能係統本身中所有預測子結果的期望。 此後，行動計劃開始實施，並將預期結果與所獲得的結果進行比較。

如果所有子結果和最終結果都達到並與預期結果一致，則規則本身以及決策過程中選擇的功能子系統的所有規則都會得到強化，其機率也會增加。 如果某個子系統沒有達到結果，則對該功能子系統的相應規則進行處罰。 然後出現指示性探索性反應，從而修改所做的決定。此模型已成功用於模擬動畫[11,16,31]。

## 15. 八、意識作為解決矛盾的機制

現在讓我們考慮意識資訊理論所提供的預測準確性的第三個層次——意識作為解決矛盾的機制。

世界就像鑽石一樣是多面向的。 7 且對此沒有單一一致的描述，意識的功能是正確選擇合適的上下文，從而獲得最準確的預測。 在科學中，這樣的脈絡是形成特定理論的某種觀點、觀點和相應概念體系的典範。 通常，這些範式彼此不相容。

V.M. Allakhverdov 也表達了這種關於意識的觀點[2]。 在他的著作[1]中，他寫道：“意識在面對矛盾的信息時，試圖將這些信息從意識表面移除或修改它，以使矛盾消失或不再被認為是矛盾。” 在這部作品中，他給了 7 個用意識解決矛盾的案例。 所有這些情況都是透過定義相關概念或上下文的機率形式概念的操作或交互作用來解釋的。 讓我們簡要地考慮其中兩個：

1. 案例 1. 擺脫矛盾或歧義的最簡單方法是選擇一種解釋進行意識，而不是意識到所有其他解釋（與其不相容）（消極選擇）。

例子。 當受試者的不同眼睛同時看到不同的刺激時，出現雙眼競爭現象。 如果呈現兩張影像，其中一張更有可能或更熟悉，受試者主要只會看到這張。

解釋。 機率形式概念相互預測概念中包含的屬性，以及否定不應該包含在其中的其他屬性，從而抑制替代方案。

2、案例 2。當認識到矛盾的不同面向時，試圖找到一種解釋方式－將不同面向連結成一個一致的整體。

例子。 在雙眼競爭的條件下，如果向一隻眼睛呈現紅色圓圈，向另一隻眼睛呈現黑色三角形，則受試者將在紅色背景上看到一個黑色三角形。

解釋。 如果感知到的符號不互相矛盾、不互相抑制，那麼它們就可以形成一個統一的機率形式概念並被相應地感知。

在所有情況下，人們都可以根據所選概念或上下文的因果關係，正確選擇最合適的機率形式概念或上下文來解決矛盾，並獲得最準確的預測。

***Литература*** ***References*** ***参考書目***


1. V.M. Allakhverdov, O.V. Naumenko, M.G. Filippova, O.B. Shcherbakova, M.O. Avanesyan, E.Y. Voskresenskaya, A.S. Starodubtsev. How consciousness gets rid of contradictions // SHAGI/STEPS 2015(1) The journal of the School of advanced studies in Humanities (in Russian)

2. Allakhverdov V.M. Consciousness as a paradox. Exp. Psy. St. Pet.: DNA, 2000. (in Russian)

3. Anokhin K.V. Cognitom: in search of a general theory of cognitive science // The Sixth International Conference on Cognitive Science, Kaliningrad, 2014, pp. 26-28. (in Russian)

4. Anokhin P.K. The problem of decision-making in psychology and physiology // Problems of decision-making. Moscow: Nauka, 1976. pp. 7-16. (in Russian)

5. Anokhin P.K. Biology and neurophysiology of the conditioned reflex and its role in adaptive behavior. Oxford a.o.: Pergamon press, 1974. 574 p.

6. Vityaev E.E., Neupokoev N.V. Formal model of perception and image as a fixed point of anticipation. Neuroinformatics. 2012, volume 6, No. 1, pp. 28-41. (in Russian)

7. Vityaev E.E. Logic of brain work // Approaches to modeling thinking. ed. V.G. Redko. URSS Editorial, Moscow, 2014, pp. 120-153. (in Russian)

8. Vityaev E.E., Demin A.V., Ponomarev D.K. Probabilistic generalization of formal concepts // Programming. Vol.38, No.5, 2012, pp. 219-230. (in Russian)

9. Vityaev E.E., Martynovich V.V. Formalization of "natural" classification and systematics through fixed points of predictions // SEMR. News. V. 12, IM SB RAS, 2015, pp. 1006-1031. (in Russian)

10. Dubrovsky D.I. The problem of "consciousness and the brain": An information approach. Knowledge, Understanding, Skills. 2013, №4. (in Russian)

11. Mukhortov V.V., Khlebnikov S.V., Vityaev E.E. Improved algorithm of semantic probabilistic inference in the 2-dimensional animate problem // Neuroinformatics, 6(1). 50-62. (in Russian)

12. Rudolf Carnap. Philosophical foundations of Physics. M., "Progress", 1971, p. 388. (in Russian)

13. Smirnov E.S. The construction of a species from a taxonomic point of view. Zool. Journal. (1938). 17:3, pp. 387-418. (in Russian)

14. Max Tegmark. Our mathematical universe. ACT, 2016, p. 592. (in Russian)

15. Cartwright, N. Causal Laws and Effective Strategies. Noûs. (1979) 13(4): 419-437.

16. Demin A.V., Vityaev E.E. Learning in a virtual model of the C. elegans nematode for locomotion and chemotaxis // Biologically Inspired Cognitive Architectures. 2014, v.7, pp.9–14.

17. Hebb D.O. The Organization of Behavior. Wiley: New York; 1949.

18. Hempel C.G. Maximal Specificity and Lawlikeness in Probabilistic Explanation. Philosophy of Science. (1968) 35, pp. 116-33.

19. Ganter B. Formal Concept Analysis: Methods, and Applications in Computer Science. TU Dresden (2003).

20. Masafumi Oizumi, Larissa Albantakis, Giulio Tononi. From the Phenomenology to the Mechanisms of Consciousness: Integrated Information Theory 3.0 // PLOS Computational Biology. May 2014, V.10. Issue 5.

21. Mill J.S. System of Logic. Ratiocinative and Inductive. L., 1983.

22. Bob Rehder, Jay B. Martin. Towards A Generative Model of Causal Cycles // 33rd Annual Meeting of the Cognitive Science Society 2011, (CogSci 2011), Boston, Massachusetts, USA, 20-23 July 2011, V.1 pp. 2944-2949.

23. Rehder B. Categorization as causal reasoning // Cognitive Science, 27. 2003, pp. 709–748.
24. Rosch E.H. Natural categories // Cognitive Psychology 4. 1975, P. 328-350.
25. Rosch E. Principles of Categorization // Rosch E.&Lloyd B.B. (eds), Cognition and Categorization. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 1978. pp. 27–48.
26. Tononi G. Information integration: its relevance to brain function and consciousness. Arch. Ital. Biol., 148: 299-322, 2010.
27. Tononi G. Integrated information theory of consciousness: an updated account. Arch Ital Biol 150, 2012, 56–90.
28. Vityaev E.E. The logic of prediction. // Proceedings of the 9th Asian Logic Conference Mathematical Logic in Asia. World Scientific, Singapore. 2005, pp. 263–276.
29. Vityaev E.E., Martinovich V.V. Probabilistic Formal Concepts with Negation // A. Voronkov, I. Virbitskaite (Eds.). PCI 2014, LNCS 8974, 2015, pp. 385-399.
30. Vityaev E.E. A formal model of neuron that provides consistent predictions // Biologically Inspired Cognitive Architectures 2012 // Advances in Intelligent Systems and Computing, v.196, Springer, 2013, pp. 339-344.
31. Vityaev E. Purposefulness as a Principle of Brain Activity // Anticipation: Learning from the Past. Cognitive Systems Monographs, V.25, Springer, 2015, pp. 231-254.
32. Vityaev, E., Odintsov, S. How to predict consistently? Trends in Mathematics and Computational Intelligence // Studies in Computational Intelligence 796. Mara Eug. Cornejo (ed), 2019, 35-41.

DOI 10.18699/sblai2023-46
УДК 510.63

# *Вопросы определимости*

# *Definability issues*

# 可定義性問題

**Семенов А.Л.**
*академик РАН, академик РАО,*
*Заведующий кафеджрой математической логики и теории*
*алгоритмов МГУ им. М.В. Ломоносова*
*Директор Института кибернетики и образовательной*
*инофрматики им. А.И. Берга ФИЦ ИУ РАН*

*Academician of the RAS, Academician of the RAE,*
*Head of the Department of Mathematical Logic and Theory*
*algorithms of Moscow State University named after M.V. Lomonosov,*
*Director of the Institute of Cybernetics and Educational Informatics*
*named after A.I. Berg*

*俄羅斯科學院院士、俄羅斯教育科學院院士，*
*數理邏輯與理論系主任*
*以 M.V. 命名的莫斯科國立大學演算法 羅蒙諾索夫*
*以 A.I. 命名的控制論和教育資訊學研究所所長 伯格*

***Аннотация***. Работа посвящёна вопросам определимости, понятию, которое связано с понятием определения. Определение - столь же базовое поняти математики и ее приложений, в том числе, в области искусственного интеллекта, как и модель, доказательство, вычисление. Теория определимости - это область математики занятая именно определениями. Одним из классических результатов здесь является доказательство А. Тарского неопределимости арифметической истины. Дано описание состояния теории определимости, включая работы М. Пресбургера, Л. Свенониуса, Ан. Мучника, автора и других учёных, дано описание открытых проблем теории определимости.

***Ключевые слова***: определимость, формулы, кванторы, логика, отношения, решетки определимости, редукты, автоморфизмы, конечные автоматы, искусственный интеллект

***Annotation.*** The work is devoted to the issues of definability, a concept that is related to the concept of definition. Definition is as basic a concept of mathematics and its applications, including in the field of artificial intelligence, as a model, a proof, a calculation. Definability theory is an area of mathematics concerned specifically with definitions. One of the classic results here is A. Tarski's proof of the indefinability of arithmetic truth. A description of the state of the theory of definability is given, including the works of M. Presburger, L. Svenonius, An. Muchnik, the author and other scientists, a description of the open problems of the theory of definability is given.

***Keywords:*** definability, formulas, quantifiers, logic, relations, definability lattices, reducts, automorphisms, finite automata, artificial intelligence

***註解。*** 這項工作致力於可定義性問題，這是一個與定義概念相關的概念。 定義是數學及其應用的基本概念，包括在人工智慧領域，作為模型、證明、計算。 可定義性理論是專門與定義相關的數學領域。 這裡的經典結果之一是 A. Tarski 對算術真理的不可定義性的證明。 給出了可定義性理論的狀態描述，包括 M. Presburger、L. Svenonius、An. 的著作。 作者穆奇尼克和其他科學家對可定義性理論的開放性問題進行了描述。

***關鍵字:*** 可定義性、公式、量詞、邏輯、關係、可定義格、約簡、自同構、有限自動機、人工智慧

### *Введение*

Дорогие друзья, мой доклад посвящён вопросам определимости. И мы начнём с того, что понятие определимости связано с понятием определения. Определение - столь же базовое поняти математики и ее приложений, в том числе, в области искусственного интеллекта, как и

- модель,
- доказательство,
- вычисление.

И, соответственно, теория определимости это область математики занятая, именно, определениями, что это значит более точно, мы объясним позднее.

При этом, замечательное положение в теории определимости состоит в том, что в ней имеется большое количество открытых проблем, и не так уж много полученных результатов. Если сравнивать, скажем, с теорией моделей или теорией доказательств, где количество публикаций исчисляется тысячами и даже десятками тысяч, то в теории определимости это скорее сотни, в крайнем случае, немногие тысячи. И вот это даёт надежду на то, что здесь можно получить некоторые очень интересные новые результаты, в том числе, связанные с практическими приложениями. Как часто бывает в математике, дело начинается с абстрактных построений, потом некоторые из них оказываются важными и практически.

Начнём с постановки вопроса, как одно понятие определить через другое, или как выработать какую-то систему понятий, которой достаточно для определения всего, скажем, всего, что мы хотим описать в том или ином языке.

Это не новая идея, скажем, в 18 веке её развивал великий философ Лейбниц в своём представлении об универсальном языке Lingua Universalis.

А в 21 веке можно упомянуть известного лингвиста, начавшего работу в Польше, и сейчас последние 10 лет живущего в Австралии Anna Wierzbicka, которая предложила систему 65 базовых понятий, общих для всех человеческих языков, через которые можно в каждом языке определить все более сложные производные понятия.

Если говорить о математическом аспекте, то можно сказать, что начало системного представления теории определимости - это логика отношений C.S. Pierce, возникшая в середине 19 века.

Опять-таки, обращаясь к ленгвистическим представлениям, ленгвистическим ситуациям, соответствующий контекст рассматривался такими крупными лингвистами, как N. Chomsky, J. Fodor, G. Lakoff .

Попытки построения математических теорий и теорий в рамках теории систем, которая тоже является одной из тем нынешнего конгресса, принадлежит R. Wille и N. B. Seiler. Ясно, что теория реляционных баз данных тоже в большой степени связана с теорией определимости. Разметка больших данных является одним из прикладных аспектов теории определимости. Особую важность сейчас приобретает доверительный, в том числе, объяснительный искусственный интеллект, когда то или иное предложение, исходящее от искусственного интеллекта, та или иная оценка, та или иная интерпретация нуждаются в объяснении. Одна из важных задач, то есть образовательных, это как научить человека правильно задавать вопросы, как научить искусственный интеллект правильно давать на них ответы, делать свои выводы убедительными для человека. И с этим тоже связана проблематика из теории определимости.

Внутри математики теория определимости в 19 веке развивалась прежде всего как такая прикладная внутриматематическая задача, в частности, попытка создать наилучшую систему базовых понятий для геометрии и арифметики. Вот здесь есть несколько имен, я не буду тратить время, чтобы их перечислить, достаточно посмотреть на список известных математиков, в том числе немецких и итальянских. Центральной фигурой 20 века в теории определимости был Альфред Тарский и, в частности, польская школа. Общеизвестен доклад Тарского на эту тему польскому математическому обществу в 1930 году.

### *Роль Альфреда Тарского и польской школы в определимости и роль определимости в трудах Тарского*

- Доклад польскому Математическому обществу 1930 г.
- Элиминация, как определение семантики, Сколем
- Ученик Тарского Мойжеш Пресбургер (Mojzesz Presburger) дипломная работа с элиминацией кванторов для сложени я целых
- Неопределимость арифметической истины (1933) , Гедель (1930), фон Нейман, ...
- Основыне понятия геометрии

С другой стороны, и до этого вопросы теории определимости поднимались как попытки определить формальную семантику логических языков. В частности, здесь можно упомянуть работы Сколема.

Одним из знаменитых известных первых результатов теории определимости можно считать результат дипломной работа Мойжеша Пресбургера (Mojzesz Presburger), ученика Тарского, где он доказал, что возможна элиминация кванторов для сложения целых чисел с соответствующими функциональными символами.

С другой стороны, выдающимся отрицательным результатом теории определимости можно считать неопределимость арифметической истины.



Мойжеш Пресбургер
(Mojzesz Presburger)
1904-1943

Мне кажется, что вот, собственно утверждение о невозможности определения арифметической истины является сердцем, основным содержанием теоремы Гёделя. В то же время, обычно этот результат связывается с именем Тарского. Известна, работа Тарского относящаяся к основным понятиям геометрии. Ну, скажем, результат о том, что двухместных отношений недостаточно для определения всех геометрических понятий. Одна из вершин математической логики, имеющих смысл и вне логики, важная точка зрения алгебры и всей математики, это результат, который можно сформулировать, как то, что семейство полуалгебраических множеств замкнуто относительно проекции, отсюда получалась разрешимость элементарной геометрии. Эта его работа опубликованна была в конце сороковых годов, но, практически, результат был получен еще в Польше. Сам Тарский, формулировал, проблематику теории определимости в рамках своих цилиндриических алгебр, которые он также называл алгебрами понятий.

***Американский период Тарского***

- Замкнутость полуалгебраических множеств относительно проекции - разрешимость элементарной алгебры и геометрии - около 1938-1948 г.
- Цилиндрические алгебры = алгебры понятий (concept algebras) 1947 г.
- Самоопределимость, 1948 г., (далее Андрей Мучник)
- Геометрия логики, параллели с Эрлагенской программой Феликса Клейна Whats are Logical Notions? Лекция в Университете Лондона, 16 мая 1966 г.



Тарский Альфред
Tarski Alfred (1902 - 1983)

Интересным понятием, которое возникало у Тарского, была самоопределимость, мы еще вернемся к этому, надеюсь, в конце нашего доклада. Тарский говорил, что, вот, в теории определимости ясно прослеживаются, параллели с Эрлагенской программой Феликса Клейна, такая

геометрия логики. В частности, об этом он говорил в своей лекции What are Logical Notions? в университете Лондона 16 мая, 1966 года. Оценивая в целом деятельность Тарского и в целом теорию определимости, Адисон говорил о том, что эта теория обобщает результаты из анализа, общей топологии, и должна быть одной из центральных ветвей математической логики, все более и более важной для информатики (computer science). С другой стороны он адресуется и к исходным работам Николая Николаевича Лузина 1927 года.

Наши собственные работы начались в 1970-е годы, задачей поставленной Альбертом Мучником, учеником Петра Сергеевича Новикова, вот, непосредственно мне. К этой задаче мы еще вернемся позднее.

На этом историческое введение я хотел бы завершить и перейти просто к основному определению, я хотел бы, чтобы оно было понятно для всех слушателей моего доклада. В том числе, может быть, не для математиков, а для тех, кто имеет просто элементарное представление из математических курсов, относящихся к логике.

***Основные понятия теории определимости***

Пусть у нас есть какой-то универсум, который обозначим U. И есть язык L, логический язык логики отношений. Это значит, что в качестве нелогических имён используются имена отношений: двухместных, трехместных, одноместных и нульместных тоже (мы не используем имена для функций). Используются кванторы по элементам универсума, разумеется, логические связки и так далее. В этом логическом языке можно определить какое-то отношение R, через другие отношения, образующие множество S. Это и есть главное определение, которое мы используем.

Теперь, взяв какое-то множество отношений, может быть, даже очень большое, несчётное, какое угодно, можно образовать его замыкание - всё, что можно через него определить. Ясно, что это финитная операция, в каждой формуле конечное число имен для отношений из S. Возникает определение замыкания, ситуации замыкания, ясно, что если мы что-то определили через что-то, то дальше ничего нового мы уже не получим. Возникает замкутое множество, которое можно назвать пространством определимости. Эти пространства определяют решетку, исходя из отношения вложенности, которое между ними есть, можно определить операции *inf* (инфимум) и *sup* (супремум), и, вот, будет такая решетка определимости для каждого, скажем, исходного универсума и множества отношений на нём. Ну, вот, например, возникает арифметическая определимость. Взяли натуральные числа, есть трёхместное отношение сложения, трехместное отношение умножения. Дальше, можно видеть, что все арифметические отношения и будут образовывать пространство определимости. Подпространством будет пространство, которое можно определить, только через сложение, вот, такая ситуация сужения, с ней связан

термин редукты, который используется для пространства определимости. Заметим, что наши определения ивариантны относительно выбора имён для исходного множества отношений. Вот, пример, частной теоремы из области теории определимости, которая известна под названием теорема Кобхема-Семёнова

*Теорема Кобхема - Семёнова*

Всякое отношение, определимое конечными автоматами, работающими в существенно разных системах счисления, определимо в арифметике сложения.

Существенно разные системы - это мультипликативно независимые системы счисления, например, 4 и 8, это мультипликативно зависимые основания систем счисления. А, скажем, 6 и 12 оказываются независимыми. Так выглядит пример теоремы из теория определимости арифметики сложения натуральных чисел. Перейдем к решёткам определимости. Начнём тоже с конкретного примера. Эдвард Хантингтон (Edward Huntington), известный американский математик, изучал те пространства, которые могут получиться на линейно упорядоченном множестве, если рассмотреть некоторые подпространства для пространства порядка. Ниже указан сам порядок (пространство - это все, что выразимо или определимо через отношение меньше) и другие отношения

$(x_1<x_2)$ - сам порядок;
$(x_1<x_2<x_3) \vee (x_3<x_2<x_1)$ - “between”;
$(x_1<x_2<x_3) \vee (x_2<x_3<x_1) \vee (x_3<x_1<x_2)$ - “cycle”;
«separation» («link»): интервалы с концами $x_1$, $x_3$ и концами $x_2$, $x_4$ пересекаются, но не вложены один в другой, эквивалентно сонаправленности (эквиполлентности);
«равенство».

Рассмотрим пространство, порождённое отношением «между», геометрический смысл здесь очевиден. Дальше отношение цикла, ну, тоже довольно понятно. Если склеить такое кольцо, то там будет идти всё по часовой стрелке, скажем. Отношение разделения *separation*, если есть два интервала (это четырехместное отношение) $[x_1, x_3]$, $[x_2, x_4]$, то они должны пересекаться, но не быть вложеными один в другой. Кроме того задано отношение равенства. Оно выражено просто в языке, тут нет ничего удивительного. Итак, мы видим 5 отношений. В конкретных ситуациях, какие-то из них могут задавать одно и то же пространство. Но, если взять просто рациональные числа и на них посмотреть эти 5 отношений, то они задают различные пространства, и мы ещё упомянем как доказать их различия. Кроме того, пространства, порожденные

этими 5-ю отношениями, исчерпывают всю решётку для рациональных чисел. Это результат был получен, как было сказано, французским математиком Claude Frasnay в 1965-м году и потом неоднократно переоткрывался другими авторами. В том числе, и автором вместе с Андреем Мучником в какой-то момент. Вот, как выглядит эта решётка,

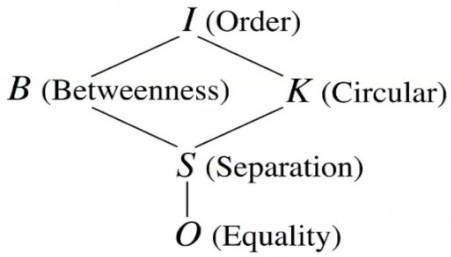



*Рис.1. Решетка для случая рациональных чисел*
*Fig.1. Lattice for the case of rational numbers*
*圖 1. 有理數情況的格子*

она имеет максимальный элемент $I$ - сам порядок. Есть два меньших элемента, $B$ - «между» и $K$ - «цикл». Их пересечением оказывается элемент $S$ - «зацепления» или «разделения». Здесь не так сложно все эти отношения доказать, это простая история. Ну, и можно задать такой вопрос, через некоторое время я на него дам ответ: представим себе, что мы к этой структуре добавляем одну константу ноль, что и как изменится? Понятно, что будет определимо, что-то большее. Ну, например, сам ноль будет определим, такое одноместное отношение «быть нулем». Будет определено, отношение больше нуля, конечно. Вот, сколько всего будет пространств в той решётке, о которой мы говорим, можете пока подумать и высказать гипотезу о том, что будет получаться. Рациональные числа с порядком - это однородная структура в следующем смысле: каждый частичный изоморфизм, конечных подструктур, продолжается до автоморфизма всей структуры.

*Определение*

Структура называется однородной, если каждый (частичный) изоморфизм конечных (под)структур продолжается до автоморфизма всей структуры.

Это свойство однородности, удобно с точки зрения теории моделей, есть большое количество работ, относящихся, именно, к однородным структурам, в том числе, связанным с порядком и так далее.

Еще одна замечательная однородная структура - это случайный граф $R^{(k)}$, для $k = 2, 3, 4, 5, ...$, все его элементы $x_1, ..., x_k$ различны и количество ребер между ними нечетно.

Если взять случайный неориентированный граф, то оказывается, что у такой структуры число подпространств тоже будет равно пяти и решетка будет

очень похожей на ту решетку, о которой мы только что говорили.

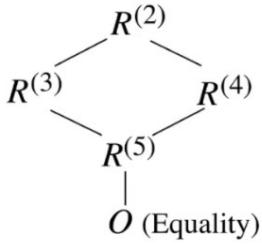



*Рис.2. Решетка для случая случайных графов*
*Fig.2. Lattice for the case of random graphs*
*圖 2. 隨機圖情況的格子*

Может это всё показаться довольно скучным. На самом деле, мы увидим, что это не так. Но, сначала, ещё одна общая конструкция. Мы понимаем, что определимость можно доказать легко, надо написать формулы. Как доказать неопределимость? Если заниматься этим со студентами, то они сами довольно быстро придумывают такую идею, которая многим из вас, наверное, тоже пришла в голову. Она пришла в голову ещё и Падоа (метод автоморфизмов Падоа), он об этом говорил в своем докладе на конгрессе математиков в 1900 году, там где Гильберт ставил свои проблемы. Это идея автоморфизмов. Значит, если мы можем придумать какой-то автоморфизм, который что-то оставляет на месте, какие-то отношения, какие-то другие двигает, то эти двигающиеся нельзя определить теми, которые остались на месте. Поэтому, возникает такая идея, для каждого пространства определимости, посмотреть на его группу автоморфизмов. Это можно назвать группой Галуа, возникает соответствие Галуа, это такой антимонотонный гомоморфизм между решёткой определимости структуры и решеткой замкнутых надгрупп группы автоморфизмов новой структуры. Замкнутость не будем сейчас определять, она имеет топологический смысл, что естественно для определения замкнутости. Ну, и дальше получается такая идея: чтобы доказать, что какое-то отношение, неопределимо, надо рассмотреть группу автоморфизмов.

**Метод автоморфизмов**

$$\Gamma_S \subset \Gamma_{\{R\}} \Rightarrow R \notin [S]$$

*$S$ - пространство определимости,*
*$\Gamma_S$ - группа его автоморфизмов.*

Некоторая проблема состоит том, что иногда не получается так поступить, и этим сейчас мы, как раз, займёмся. Ниже дан пример этого преобразования для отношения порядка, для отношения «между» (ещё добавляются убывающие, естественно, отображения), для «цикла» (видим такие перекладывания отрезков, получающиеся разрезанием по иррациональному

сечению).

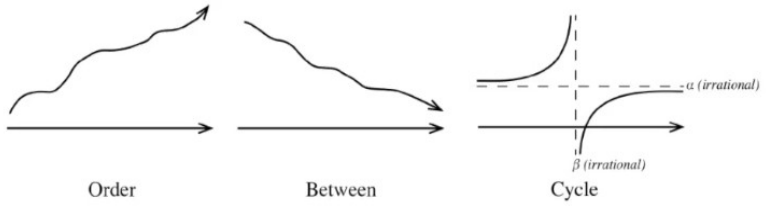



*Рис.3. Графики преобразований для порядков*
*Fig.3. Transformation graphs for orders*
*圖 3。 訂單轉換圖*

Ну, вот, оказывается, если добавить константу, то получается 116 отношений. То есть, если для случая рациональных чисел добавить одноместное отношение быть 0, то получается количество отношений 115. Если добавить иррациональную точку, то есть всё большее и всё меньшее этой иррациональной точки, то количество подпространств, оказывается несколько меньшим, это 53. Рассмотрев ряд ситуаций, в частности, ситуацию с однородными графами, Томас высказал следующую гипотезу.

*Гипотеза Томаса*
Каждая счетная однородная конечнопорожденная структура имеет конечную решётку определимости.

Можно также спросить, не верно ли, что каждая структура с конечной решёткой определимости будет однородной.

Эти две проблемы открыты, стоят уже около 40 лет. Ну, вот, интересно, над ними было бы подумать.

В случае ω-категоричных структур (в них из элементарной эквивалентности следует изоморфность), к которому относятся и однородные структуры, оказывается, что метод автоморфизмов решает проблему (результаты Rull-Nardzewski, Engeler and Svenonius конца 1950-х годов).
Там имеет место изоморфизм между структурами надгрупп и решёткой.

*Теорема изоморфизма*
Решетка определимости всякой ω-категоричной структуры (анти)-изоморфна решетке замкнутых надгрупп группы автоморфизмов структуры.
$\Gamma_S \not\subset \Gamma_{\{R\}} \Leftrightarrow R \notin [S]$ ( $S$ - пространство определимости, $R$ - отношение)

Что происходит за пределами ω-категоричности? Здесь имеет место совершенно замечательная теорема Ларса Свенониуса (L. Svenonius), опубликованная в 1959 году, и она состоит в следующем. Если рассматривать не только саму структуру, но и её элементарные решения, тогда метод автоморфизма работает.

*Теорема Свенониуса*

Для любой счетной структуры, элемента S ее решётки определимости и отношения $R \notin S$ существует элементарное расширение структуры, в котором $\Gamma_S \not\subset \Gamma_{\{R\}}$ .

Результат этот, кстати, оказался довольно малоизвестным. По-видимому, всвязи с тем, что он был напечатан в Швеции (Ларс Свенониус исходно швед, потом он жил в Америке) в журнале под названием «Теория», издававшимся тиражом в пару сотен экземпляров. И долгое время эта теорема не замечалась. Но в 1973 году [1] известный американский математик (исходно швейцарский) ученик Бернайса и соученик Маклейна, с которым они потом были дружны до конца жизни, Бюхи (Buchi J. Richard), изучая тексты Тарского, естественно, задался вопросом, нет ли какой-нибудь такой универсальной теоремы про определимость? В частности, есть ссылки Тарского на Эрлагенскую программу и так далее. Оказалось, что, да, есть, вот, Свенониус, по-существу, доказал такую теорему полноты для определимости, пользуясь, с одной стороны, идеей автоморфизмов преобразований, что-то сохраняющих, с другой стороны, идеей добавления идеальных элементов.

Я просто вспомню Клейна, проективную геометрию, когда добавляются некоторые элементарные идеальные объекты, позволяющие действовать правильной системой автоморфизмов. Бюхи посвятил пару работ этому подходу к результату Свенониуса. Вот, мы, в свою очередь, смотрели обобщение ситуации однородности, когда, вообще говоря, структура не ω-категоричная, у неё есть разные элементарные эквивалентные структуры, но скажем, дальше расширить ее нельзя, то есть расширение не существует. Но ясно, что и в этом случае теорема Свенониуса даёт ответ, если структура полна вверх, то есть дальше её нельзя расширять, то вот тут, как раз, мы можем рассмотреть все автоморфизмы самой структуры и ее подпространств. Там будет изоморфизм, соответствие Галуа будет антизоморфизмом.

Соответственно, возникает определение пополнимой вверх структуры, когда есть просто её расширение, которое дальше расширять некуда. И там получается теорема полноты для таких структур, там уже не нужны идеальные элементы, а в самой структуре всё это делается. Метод автоморфизмов начинает работать в полной мере.

*Определение*

Структура ***полна вверх***, если все ее элементарыне расширения ей изоморфны.

*Теорема полноты для пополнимых вверх структур*

Если у структуры существует полное вверх элементарное расширение, то ее решётка определимости (анти-)изоморфна решётке замкнутых надгрупп ее группы автоморфизмов.

$\Gamma_S \not\subset \Gamma_{\{R\}} \Leftrightarrow R \notin [S]$ , $S$ - полное вверх пространство, $R$ - отношение.

В разных естественных структурах оказывается, что, вот, эта самая полнота вверх имеет место:

рациональный порядок $\langle \mathbb{Q}; < \rangle$ - однородная структура, элементарно эквивалентная $\langle \mathbb{R}; < \rangle$ (5-и элементаная решетка), пополнимые вверх структуры $\langle \mathbb{Z}; + \rangle$ , $\langle \mathbb{Q}; + \rangle$ .

В частности, к таким структурам относятся исследования о целых числах, то есть двухместные отношения $\langle \mathbb{Z}; +1 \rangle$ , что одно число на единицу больше другого, в этом случае мы получаем уже не конечную структуру, а счётную, состоящую из трех довольно понятных и естественных серий отношений, как написано ниже,

*Теорема*

Положим (тильда означает «равно по определению», $S_2 \triangleright S_1$ обозначает строгую вложенность пространства определимости набора отношений $S_2$ в пространство определимости, порожденное набором отношений $S_1$ на том же носителе, см. [2])

$A_{0,n}(x_1, x_2) \sim |x_1 - x_2| = n$ ,

$A_{1,n}(x_1, x_2, x_3, x_4) \sim x_1 - x_2 = x_3 - x_4 = n \vee x_1 - x_2 = x_3 - x_4 = -n$ ,

$A_{2,n}(x_1, x_2) \sim x_1 - x_2 = n.$

Тогда каждый элемент $\langle \mathbb{Z}; +1 \rangle$ порожден $A_{i,n}$ для некоторых $i \le 2$ и натурального $n$;

для каждых $0 < i \le 2$ и натурального $n, m$

$A_{i,n} \triangleright A_{i-1,n}$ , $A_{i,n} \triangleright A_{i,m} \Leftrightarrow n$ делит $m$;

$[A_{i,d}] \cup [A_{j,k}] = [A_{m,n}], m = \max\{i, j\}, n = GCD(d, k)$;

$[A_{i,d}] \cap [A_{j,k}] = [A_{m,n}], m = \min\{i, j\}, n = LCM(d, k)$;

Все $A_{i,n}$ различны.

порождающих, например, «расстояние равно *n*», или вот нечто похожее на зацепление, оно такое сонаправленность, «расстояние равно *n*» и направленное в одну сторону. Тут получается описание соответствующих групп автомофизмов, полное описание решетки, это результат наш с Сопруновым С.Ф., полученный примерно 2-3 года назад [2].

Дальше, начинается уже открытая проблематика. Я предупреждал, что исходно есть очень много открытых проблем. Ну, например, что будет, если взять не целое число, а натуральное плюс единица. Казалось бы, должно получиться что-то примерно то же самое, ну, в некотором смысле, да, будет получаться, хотя вопрос формально открытый, но, по-моему, ясно, как тут двигаться.

### *Возможные варианты и обобщения*

Счётный универсум, конечная сигнатура.

Построение пополнений

- <N; +1>;
- Z × Z - два коммутирующих следования;
- несколько свободных следований;
- бескорневое двоичное дерево, например, одна ось - <Z; +1> со сдвигом 0, в каждой точке добавляем ребро - сдвиг 1, из которого растет корневое двоичное, из каждой точки выходит 0 и 1, в каждую точку входит 0 или 1;
- можно стереть пометки и направления ребер.

Можно рассмотреть вместо целых чисел, два коммутирующих следования. Можно рассмотреть такую клетчатую бумагу и можно идти вправо, влево, верх, вниз, и вот какая будет структура, и какая будет решетка в этой ситуации. Можно не коммутирующее следование, рассмотреть, а, так сказать, свободное, то есть бесконечное двоичное дерево, например, и дальше двигаться по ребрам этого дерева. Можно их помечать, можно не помечать, можно смотреть наличие корня, можно не рассматривать, будет возникать некоторая богатая структура. Можно дать общее определение, относящееся к такого сорта ситуации, в каком-то смысле такой дискретный вариант идеи однородности, которая позволяет строить соответствующую группу автоморфизмов.

### *Общая идея*

Условие однородности: финитно-глобальное -

- изоморфизм конечных подструктур продолжается до автоморфизма

структуры;

- конечная подструктура может содержать далекие элементы.

Локальная однородность: двухместные отношения в сигнатуре и т.д.

- изоморфизм конечных связных структур (графов) продолжается до автоморфизма структуры.

Если пытаться дальше двигаться по целым числам, то, что будет, если рассматривать отношение Хантингтона на целых числах, будет возникать соответствующая структура, можно рассматривать подпространства.

### *Следующие шаги*

Порядок целых чисел

- гомоморфизм отношений Хантингтона;
- аналоги серий для целых чисел;
- пополонение вверх для $\mathbb{Z}\times\mathbb{Q}$ .

Следования и порядки целых и натуральных

- периодические и почти периодические одноместные отношения;
- несколько следований, деревья.

И возникает ситуация с пополнением, возникают аналоги этих самых серий, и, тем не менее, задача для целых чисел с отношением порядка, является тоже открытой. Тоже точного ответа, мы пока не знаем. Ну, и дальше можно постепенно расширять классы структур, например, добавлять периодические или почти периодические одноместное отношения на целых натуральных числах, смотреть, что из этого получится.

### ***Перспектива*** (*отдалённая*?)

Сложение целых (натуральных) чисел

Задача, поставленная Ал. Мучником Семенову А.Л. (около 1970 г.) со ссылкой на П.С. Новикова (одновременно с обобщением Кобхэма)

- пополнимость вверх;
- поиск новых отношений/ «понятно устроенных» расширений.

Хочу сказать, что исходно, как раз, Ал. Мучник поставил проблему сложения для целых чисел, скажем. Ну, одновенно поставил задачу обобщения теоремы Кобхэма, которую я уже упоминал. Здесь ситуация оказывается достаточно сложная, и до сих пор мы очень далеки от окончательного решения

проблемы по сложению для целых чисел.

### *Элиминация кванторов*

Конечная реляционная сигнатура

- Однородные структуры допускают элиминацию кванторов
- Арифметика Пресбургера - не допускает (даже, если использовать функциональные символы).
- Разрешение бесконечной сигнатуры делает задачу неопределенной.

Вот, еще некоторый класс вопросов, в том числе, имеющих отношение к проблематике искусственного интеллекта, анализ естественных языков, относится к проблематике элиминации кванторов. Вы помните, что арифметика Пресбургера экзистенциальна, в ней можно элиминировать кванторы, но не совсем, а до глубины один. То есть можно подставить квантор существования, тогда все будет получаться. В однородных структурах кванторы просто элиминируются, там всякая формула эквивалентна бескванторной.

Давайте теперь посмотрим, сколь сложными могут быть кванторные приставки. В арифметике Пресбургера можно добавлять быстро растущую функцию, это мои работы 1970-80-х годов.

### *Экзистенциальная элиминация кванторов*

Если разрешить только кванторы существования, получаем:

- алгоритмическую разрешимость;
- возможность заменить функциональные имена именами отношений;
- арифметика Пресбургера экзистенциальна, добавление быстро растущих функций не выводит за пределы экзистенциальности (Семенов А.Л., 1979, 1983);
- конечно-автоматная определимость (во многих случаях) экзистенциальна (существует допускающий ход автомата);
- CSP Constraint satisfaction problem? Обобщенная выполнимость - вложимость структуры описывается экзистенциально.

В рассматриваемых структурах и их редуктах экзистенциально элиминируются кванторы, разрешимы проблемы принадлежности, CSP и т.д.

Но если мы будем рассматривать, конечно-автоматные структуры, то там уже экзистенциальности не хватает, нужно в некоторых ситуациях иметь более сложные кванторные приставки. И возникает такой вопрос. Ясно, что есть структуры с бесконечной кванторной глубиной. Например, арифметика со

сложением и умножения.

### *Кванторная высота*

Логическая сложность - (кванторная) высота пространства - минимальное количество перемен кванторов, позволяющее получить все пространство, начиная с конечного числа отношений.

Проблема пробела в кванторной высоте.

- Почему естественно возникающие структуры имею малую (обычно 0 или 1) или бесконечную высоту?
- Естественные неразрешимые случаи - имеют бесконечную кванторную высоту.
- Можно построить неразрешимые и разрешимые случаи любой кванторной высоты.

С другой стороны, есть структуры с малой кванторной высотой (синоним глубины). Можно строить искусственные примеры с любой фиксированной кванторной высотой, с разрешимостью, неразрешимостью, но естественных примеров этого неизвестно.

Последнее интересное понятия, это понятие, принадлежащее Андрею Мучнику, сыну Альберта Абрамовича Мучника и моему ученику. Это понятие самоопределимости, тоже восходящее к Тарскому. Тарским предлагалась сама определимость, когда можно в какой-то структуре определять, определимо в ней что-то или нет. Но это значит, что мы просто берём символ дополнительный, добавляем уже не для объектов, а для отношения *n*-местного, и дальше берём замкнутую формулу с одной переменной, если мы в этой *n*-местной предикатной, так сказать, переменной, добавляем определимое отношение, то истина, если неопределимая, то ложно.

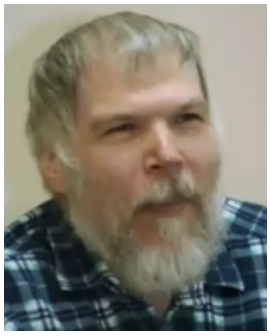
И вот Ан. Мучник доказал, что пространство 000 $\langle \mathbb{N}; + \rangle$ самоопределимое и отсюда получил более простое и красивое доказательство теоремы Кобхэма-Семенова. Возникает вопрос, когда еще бывает самоопределимость.

Пока не удаётся найти ситуации самоопределимости, кроме одного тривиального случая, не буду о нём говорить. Вот, надо рассмотреть такие естественные кандидаты, как

- $\langle \mathbb{Z}; + \rangle$
- $\langle \mathbb{Q}; + \rangle$ .

Андрей Мучник, к сожалению, в 2007 году от нас ушел, это был очень талантливый человек, действительно молодой ученый. Проблематика его осталась.

Андрей Мучник доказал свою теорему в успешной попытке упростить доказательство Семенова А.Л. теоремы Кобхэма-Семенова. Его доказательство имело резонанс и теорему сегодня стоит называть Теоремой Кобхэма - Семенова - Мучника. Теорема естественно позволяет проверять определимость, если структуру, в которой мы записываем и в которой есть сложение - разрешима (например, автоматна). Очевидно, если множество $n$-местного отношения конечно для каждого $n$=1, 2, ... , то структура самоопределима.



Мучник А.А.
1958-2007

Думаю, что я показал достаточное количество примеров и открытых проблем, в том числе, повторяю, вероятно, не таких уж сложных, которыми можно заниматься. Предлагаю всем сотрудничать в этой интересной области.

***Introduction***

Dear friends, my report is devoted to the issues of definability. And we will begin with the fact that the concept of definability is connected with the concept of determination. Definition is as basic a concept of mathematics and its applications, including in the field of artificial intelligence, as

- model,
- proof,
- calculation.

And, accordingly, the theory of definability is an area of mathematics occupied, namely, with definitions; what this means more precisely, we will explain later.

That being said, the remarkable thing about definability theory is that it has a large number of open problems, but not many results. If we compare, say, with the theory of models or the theory of proofs, where the number of publications is in the thousands and even tens of thousands, then in the theory of definability it is rather hundreds, or at least a few thousand. And this gives hope that some very interesting new results can be obtained here, including those related to practical applications. As often happens in mathematics, it starts with abstract constructions, then some of them turn out to be important in practice.

Let's start by posing the question of how to define one concept through another, or how to develop some kind of system of concepts that is sufficient to define everything, say, everything that we want to describe in a particular language.

This is not a new idea; let’s say, in the 18th century it was developed by the great philosopher Leibniz in his idea of a universal language, Lingua Universalis.

And in the 21st century, we can mention the famous linguist who began working in Poland, and now has been living in Australia for the last 10 years, Anna Wierzbicka, who proposed a system of 65 basic concepts common to all human languages, through which more and more complex derivative concepts can be defined

in each language .

If we talk about the mathematical aspect, we can say that the beginning of a systemic representation of the theory of definability is the logic of C.S. relations. Pierce, which originated in the mid-19th century.

Again, turning to linguistic ideas, linguistic situations, the corresponding context was considered by such major linguists as N. Chomsky, J. Fodor, G. Lakoff.

Attempts to construct mathematical theories and theories within the framework of systems theory, which is also one of the topics of the current congress, belong to R. Wille and N. B. Seiler. It is clear that the theory of relational databases is also largely related to the theory of definability. Big data tagging is one of the applied aspects of definability theory. Confidential, including explanatory, artificial intelligence is now of particular importance when this or that proposal emanating from artificial intelligence, this or that assessment, this or that interpretation needs explanation. One of the important tasks, that is, educational ones, is how to teach a person to ask questions correctly, how to teach artificial intelligence to correctly answer them, and make its conclusions convincing for a person. And this is also related to problems from the theory of definability.

Within mathematics, the theory of definability in the 19th century developed primarily as an applied intra-mathematical problem, in particular, an attempt to create the best system of basic concepts for geometry and arithmetic. There are several names here, I will not waste time listing them, just look at the list of famous mathematicians, including German and Italian. The central figure of the 20th century in definability theory was Alfred Tarski and, in particular, the Polish school. Tarski's report on this topic to the Polish Mathematical Society in 1930 is well known.

### *The role of Alfred Tarski and the Polish school in definability and the role of definability in the works of Tarski*

Report to the Polish Mathematical Society 1930

Elimination as a definition of semantics, Skolem

Tarski's student Mojzesz Presburger's thesis on the elimination of quantifiers for the addition of integers

The Indefinability of Arithmetic Truth (1933), Gödel (1930), von Neumann, ...

Basic concepts of geometry

On the other hand, even before this, questions of the theory of definability were raised as attempts to determine the formal semantics of logical languages. In particular, the work of Skolem can be mentioned here.

One of the famous famous first results of the theory of definability can be considered the result of the thesis work of Mojzesz Presburger, a student of Tarski, where he proved that it is possible to eliminate quantifiers for the addition of integers with the corresponding function symbols.

On the other hand, the indefinability of arithmetic truth can be considered an outstanding negative result of the theory of definability.



Mojzesz Presburger
1904-1943

It seems to me that the actual statement about the impossibility of determining arithmetic truth is the heart, the main content of Gödel's theorem. At the same time, this result is usually associated with the name of Tarski. Tarski's work related to the basic concepts of geometry is well known. Well, let's say the result is that binary relations are not enough to define all geometric concepts. One of the peaks of mathematical logic, which has meaning even outside of logic, an important point of view of algebra and all of mathematics, is a result that can be formulated as the fact that the family of semi-algebraic sets is closed under projection, hence the solvability of elementary geometry. This work of his was published in the late forties, but, practically, the result was obtained in Poland. Tarski himself formulated the problems of the theory of definability within the framework of his cylindrical algebras, which he also called algebras of concepts.

American Tarski period

Closedness of semi-algebraic sets under projection - solvability of elementary algebra and geometry - around 1938-1948.
Cylindrical algebras = concept algebras (1947)
Self-determination, 1948, (hereinafter Andrey Muchnik)
Geometry of logic, parallels with Felix Klein's Erlagen program
What are Logical Notions? Lecture at the University of London, 16 May 1966



Tarski Alfred (1902 - 1983)

An interesting concept that arose from Tarski was self-determination; we will return to this, I hope, at the end of our report. Tarski said that, in the theory of definability, parallels with the Erlagen program of Felix Klein, such a geometry of logic, are clearly visible. In particular, he spoke about this in his lecture What are Logical Notions? at the University of London on May 16, 1966. Assessing the overall activity of Tarski and the theory of definability in general, Adison said that this theory generalizes the results of analysis, general topology, and should be one of the central

branches of mathematical logic, more and more important for computer science. On the other hand, it also addresses the original works of Nikolai Nikolaevich Luzin in 1927.

Our own work began in the 1970s, with the task posed by Albert Muchnik, a student of Pyotr Sergeevich Novikov, directly to me. We will return to this problem later.

With this, I would like to complete the historical introduction and move simply to the main definition; I would like it to be clear to all listeners of my report. Including, perhaps, not for mathematicians, but for those who have just an elementary understanding from mathematical courses related to logic.

***Basic concepts of definability theory***

Let us have some kind of universe, which we denote by U. And there is a language L, the logical language of the logic of relations. This means that relation names are used as non-logical names: double, triple, single and null (we do not use names for functions). Quantifiers based on the elements of the universe are used, of course, logical connectives, and so on. In this logical language, it is possible to define some relation R through other relations that form the set S. This is the main definition that we use.

Now, taking some set of relations, maybe even a very large, uncountable, whatever, you can form its closure - everything that can be defined through it. It is clear that this is a finite operation, in each formula there is a finite number of names for relations from S. The definition of closure, the situation of closure arises, it is clear that if we have defined something through something, then we will not get anything new further. A closed set arises, which can be called a definability space. These spaces define a lattice, based on the nesting relation that exists between them, you can define the operations inf (infimum) and sup (supremum), and, behold, there will be such a definability lattice for each, say, initial universe and the set of relations on it. Well, for example, arithmetic definability arises. We took natural numbers, there is a three-place addition relation, a three-place multiplication relation. Further, one can see that all arithmetic relations will form a definability space. A subspace will be a space that can be defined only through addition, so this is a situation of narrowing, the term reducts is associated with it, which is used for the space of definability. Note that our definitions are variable with respect to the choice of names for the original set of relations. Here is an example of a particular theorem from the field of definability theory, which is known as the Cobham-Semyonov theorem

*Cobham-Semyonov theorem*

Any relation that is definable by finite automata operating in significantly different number systems is definable in addition arithmetic.

Significantly different systems are multiplicatively independent number systems, for example, 4 and 8, these are multiplicatively dependent bases of number systems. And, say, 6 and 12 turn out to be independent. This is an example of a theorem from the theory of definability of the arithmetic of addition of natural numbers. Let's move on to definability lattices. Let's also start with a specific example. Edward Huntington, a famous American mathematician, studied the spaces that can be obtained on a linearly ordered set if we consider some subspaces for the order space. Below is the order itself (space is everything that is expressible or definable through the relation less than) and other relations

($x_1<x_2$) - the order itself;
($x_1<x_2<x_3$) $\vee$ ($x_3<x_2<x_1$) - “between”;
($x_1<x_2<x_3$) $\vee$ ($x_2<x_3<x_1$) $\vee$ ($x_3<x_1<x_2$) - “cycle”;
“separation” (“link”): intervals with ends x1, x3 and ends x2, x4 intersect, but are not nested, equivalent to codirectionality (equipollence);
"equality".

Let's consider the space generated by the relationship “between”; the geometric meaning here is obvious. Further, the relation of the cycle, well, is also quite clear. If you glue such a ring, then everything will go clockwise, say. Separation relation, if there are two intervals (this is a quadruple relation) [$x_1$, $x_3$], [$x_2$, $x_4$], then they must intersect, but not be nested one inside the other. In addition, an equality relation is specified. It is expressed simply in language, there is nothing surprising here. So, we see 5 relationships. In specific situations, some of them may define the same space. But, if you take just rational numbers and look at these 5 relations, then they define different spaces, and we will also mention how to prove their differences. Moreover, the spaces generated by these 5 relations exhaust the entire lattice for rational numbers. This result was obtained, as was said, by the French mathematician Claude Frasnay in 1965 and was then repeatedly rediscovered by other authors. Including the author, together with Andrei Muchnik, at some point. This is what the grid looks like:

*Fig.1. Lattice for the case of rational numbers*

it has a maximum element I - order itself. There are two smaller elements, B - "between" and K - "cycle". Their intersection turns out to be the element S - “linkage” or “separation”. It's not that difficult to prove all these relationships, it's a simple story. Well, you can ask this question, after a while I will answer it: imagine that we add one constant zero to this structure, what will change and how? It is clear that something more will be definable. Well, for example, zero itself will be definable, such a one-place relation “to be zero.” It will be determined that the ratio is greater than zero, of course. Now, just how many spaces there will be in the lattice we

are talking about, you can now think about it and make a hypothesis about what will happen. Rational numbers with order are a homogeneous structure in the following sense: every partial isomorphism of finite substructures extends to an automorphism of the entire structure.

*Definition*
A structure is called homogeneous if each (partial) isomorphism of finite (sub)structures extends to an automorphism of the entire structure.

This property of homogeneity is convenient from the point of view of model theory; there is a large number of works related specifically to homogeneous structures, including those related to order and so on.
Another remarkable homogeneous structure is the random graph $R^{(k)}$, for $k$ = 2, 3, 4, 5, ..., all its elements $x_1$, ..., $x_k$ are different and the number of edges between them is odd.
If we take a random undirected graph, it turns out that such a structure will also have five subspaces and the lattice will be very similar to the lattice we just talked about.

*Fig.2. Lattice for the case of random graphs*

This may all seem rather boring. In fact, we will see that this is not the case. But first, one more general design. We understand that definability can be proven easily; we need to write formulas. How to prove indeterminability? If you do this with students, they themselves will quickly come up with an idea that many of you have probably also thought of. It also came to Padoa's mind (Padoa's method of automorphisms), he spoke about this in his report at the Congress of Mathematicians in 1900, where Hilbert posed his problems. This is the idea of automorphisms. This means that if we can come up with some kind of automorphism that leaves something in place, some relationships, moves some others, then these moving ones cannot be defined by those that remain in place. Therefore, the idea arises, for each definability space, to look at its group of automorphisms. This can be called a Galois group, a Galois correspondence arises, this is an antimonotone homomorphism between the definability lattice of the structure and the lattice of closed overgroups of the automorphism group of the new structure. We will not define closedness now; it has a topological meaning, which is natural for defining closedness. Well, then we get the following idea: in order to prove that some relation is indefinable, we need to consider a group of automorphisms.

***Automorphism method***

$$\Gamma_S \not\subset \Gamma_{\{R\}} \Rightarrow R \notin [S]$$

S - definability space,

GS is the group of its automorphisms.

Some of the problem is that sometimes it is not possible to do this, and this is exactly what we will do now. Below is an example of this transformation for an order relation, for a relation “between” (of course, decreasing mappings are also added), for a “cycle” (we see such rearrangements of segments obtained by cutting along an irrational section).

*Fig.3. Transformation graphs for orders*

Well, it turns out that if you add a constant, you get 116 relations. That is, if for the case of rational numbers we add the one-place relation to be 0, then the number of relations is 115. If we add an irrational point, that is, more and more and less of this irrational point, then the number of subspaces turns out to be somewhat smaller, it is 53. Having considered a number of situations , in particular, the situation with homogeneous graphs, Thomas proposed the following conjecture.

*Thomas conjecture*
Every countable homogeneous finitely generated structure has a finite definability lattice.

One might also ask whether it is not true that every structure with a finite definability lattice will be homogeneous.

These two problems have been open for about 40 years. Well, it would be interesting to think about them.

In the case of ω-categorical structures (in which isomorphism follows from elementary equivalence), which also includes homogeneous structures, it turns out that the method of automorphisms solves the problem (results of Rull-Nardzewski, Engeler and Svenonius in the late 1950s).
There is an isomorphism between the structures of supergroups and the lattice.

*Isomorphism theorem*
The definability lattice of any ω-categorical structure is (anti)-isomorphic to the lattice of closed supergroups of the group of automorphisms of the structure.
$\Gamma_S \not\subset \Gamma_{\{R\}} \Leftrightarrow R \notin [S]$ (S - definability space, R - relation)

What happens beyond ω-categoricality? This is where an absolutely remarkable theorem by L. Svenonius, published in 1959, comes into play, and it goes as follows.

If we consider not only the structure itself, but also its elementary solutions, then the automorphism method works.

*Svenonius's theorem*
For any countable structure, an element S of its definability lattice and the relation R $\notin$ S, there is an elementary extension of the structure in which $\Gamma_S \not\subset \Gamma_{\{R\}}$ .

This result, by the way, turned out to be quite unknown. Apparently, due to the fact that it was published in Sweden (Lars Svenonius was originally a Swede, then he lived in America) in a magazine called “Theory”, published in a circulation of a couple of hundred copies. And for a long time this theorem was not noticed. But in 1973 [1], the famous American mathematician (originally Swiss) student of Bernays and fellow student of MacLane, with whom they were later friends until the end of their lives, Buchi J. Richard, while studying Tarski’s texts, naturally wondered if there was some Any such universal theorem about definability? In particular, there are Tarski's references to the Erlagen program and so on. It turned out that, yes, there is, so Svenonius, in essence, proved such a completeness theorem for definability, using, on the one hand, the idea of automorphisms of transformations that preserve something, on the other hand, the idea of adding ideal elements.
I'll just remember Klein, projective geometry, when some elementary ideal objects are added, allowing the correct system of automorphisms to operate. Büchi devoted a couple of papers to this approach to Svenonius's result. Now, we, in turn, looked at a generalization of the situation of homogeneity, when, generally speaking, the structure is not ω-categorical, it has different elementary equivalent structures, but let’s say, it cannot be expanded further, that is, the expansion does not exist. But it is clear that in this case, Svenonius’s theorem gives the answer: if the structure is complete upward, that is, it cannot be expanded further, then here, precisely, we can consider all the automorphisms of the structure itself and its subspaces. There will be an isomorphism, the Galois correspondence will be an antisomorphism.
Accordingly, the definition of an upwardly replenished structure arises, when there is simply its expansion, which has nowhere to expand further. And there we get a completeness theorem for such structures; ideal elements are no longer needed, and all this is done in the structure itself. The automorphism method begins to work fully.

*Definition*
A structure is complete upward if all its elementary extensions are isomorphic to it.

*Completeness theorem for upward-completed structures*
If a structure has an upwardly complete elementary extension, then its definability lattice is (anti-)isomorphic to the lattice of closed supergroups of its automorphism group.

$\Gamma_S \not\subset \Gamma_{\{R\}} \Leftrightarrow R \notin [S]$ , S - full up space, R - ratio.

In various natural structures it turns out that this same fullness upward takes place: rational order $\langle \mathbb{Q}; < \rangle$ - homogeneous structure, elementarily equivalent to $\langle \mathbb{R}; < \rangle$ (5-element lattice), upwardly replenished structures $\langle \mathbb{Z}; + \rangle$, $\langle \mathbb{Q}; + \rangle$.
In particular, such structures include studies of integers, that is, binary relations $\langle \mathbb{Z}; +1 \rangle$, that one number is one greater than the other, in this case we no longer get a finite structure, but a countable one, consisting of three fairly understandable and natural series of relations, like written below,

*Theorem*
Let us put (tilde means "equal by definition", $S_2 \triangleright S_1$ denotes strict nesting of the definability space of a set of relations $S_2$ into the definability space generated by a set of relations $S_1$ on the same carrier, see [2])

$$A_{0,n}(x_1, x_2) \sim |x_1 - x_2| = n,$$
$$A_{1,n}(x_1, x_2, x_3, x_4) \sim x_1 - x_2 = x_3 - x_4 = n \vee x_1 - x_2 = x_3 - x_4 = -n,$$
$$A_{2,n}(x_1, x_2) \sim x_1 - x_2 = n.$$

Then each element $\langle \mathbb{Z}; +1 \rangle$ is generated by $A_{i,n}$ for some $i \le 2$ and natural n; for every $0 < i \le 2$ and natural n, m

$A_{i,n} \triangleright A_{i-1,n}$, $A_{i,n} \triangleright A_{i,m} \Leftrightarrow$ n divides m;

$$[A_{i,d}] \cup [A_{j,k}] = [A_{m,n}], m = \max\{i, j\}, n = GCD(d, k);$$
$$[A_{i,d}] \cap [A_{j,k}] = [A_{m,n}], m = \min\{i, j\}, n = LCM(d, k);$$

All $A_{i,n}$ are different.

generating, for example, "the distance is equal to n", or something similar to a link, it is such a co-direction, "the distance is equal to n" and directed in one direction. Here we get a description of the corresponding groups of automophisms, a complete description of the lattice, this is the result of ours with Soprunov S.F., obtained approximately 2-3 years ago [2].
Further, an already open problem begins. I warned that initially there are a lot of open problems. Well, for example, what happens if you take not an integer, but a natural number plus one. It would seem that something approximately the same should turn out, well, in a sense, yes, it will work out, although the question is formally open, but, in my opinion, it is clear how to move here.

## *Possible options and generalizations*

Countable universe, finite signature.
Construction of replenishments
<N; +1>;
Z × Z - two commuting sequences;
several free trails;
unrooted binary tree, for example, one axis - <Z; +1> with a shift of 0, at each point we add an edge - a shift of 1, from which the root binary grows, 0 and 1 come out of each point, 0 or 1 enters each point;
You can erase the marks and directions of the edges.
Instead of integers, we can consider two commuting consequences. You can look at such checkered paper and you can go right, left, up, down, and this is what the structure will be, and what the lattice will be in this situation. You can consider not a commuting sequence, but, so to speak, a free, that is, an infinite binary tree, for example, and continue to move along the edges of this tree. You can mark them, you can not mark them, you can look for the presence of a root, you can not look at them, some rich structure will emerge. It is possible to give a general definition relating to this kind of situation, in a sense, such a discrete version of the idea of homogeneity, which allows us to construct the corresponding group of automorphisms.

## *General idea*

Homogeneity condition: finite-global -
an isomorphism of finite substructures extends to an automorphism of a structure;
the final substructure may contain distant elements.

Local homogeneity: binary relations in signature, etc.
an isomorphism of finite connected structures (graphs) extends to an automorphism of the structure.

If we try to move further along integers, then what will happen is that if we consider the Huntington relation on integers, a corresponding structure will arise, we can consider subspaces.

## *Next steps*

Order of integers
homomorphism of Huntington relations;
analogues of series for integers;

replenishment up for $\mathbb{Z}\times\mathbb{Q}$ .

Sequences and orders of integers and naturals
periodic and almost periodic single relationships;
several trails, trees.

And a situation arises with replenishment, analogues of these same series arise, and, nevertheless, the problem for integers with an order relation is also open. We also don't know the exact answer yet. Well, then you can gradually expand the classes of structures, for example, add periodic or almost periodic unary relations on natural integers, and see what comes of it.

### *Perspective (distant?)*

Addition of whole (natural) numbers
The task posed by Al. Muchnik Semenov A.L. (circa 1970) with reference to P.S. Novikov (simultaneously with Cobham's generalization)
replenishment up;
search for new relationships/ "clearly arranged" extensions.

I want to say that initially, just Al. Muchnik posed the problem of addition for integers, say. Well, I immediately set the task of generalizing Cobham's theorem, which I already mentioned. Here the situation turns out to be quite complicated, and we are still very far from the final solution to the problem of addition for integers.

### *Elimination of quantifiers*

Ultimate relational signature
Homogeneous structures allow the elimination of quantifiers
Presburger's arithmetic does not allow it (even if you use function symbols).
Allowing an infinite signature makes the problem undefined.

Here, another class of questions, including those related to the problems of artificial intelligence, the analysis of natural languages, relates to the problem of eliminating quantifiers. You remember that Presburger's arithmetic is existential, in it it is possible to eliminate quantifiers, but not completely, but to a depth of one. That is, you can substitute the existence quantifier, then everything will work out. In homogeneous structures, quantifiers are simply eliminated; there, every formula is equivalent to a quantifier-free one.
Let's now see how complex quantifier prefixes can be. In Presburger arithmetic you can add a rapidly growing function, these are my works from the 1970s and 80s.

## *Existential elimination of quantifiers*

If we allow only existence quantifiers, we get:
algorithmic solvability;
the ability to replace functional names with relation names;
Presburger's arithmetic is existential, the addition of rapidly growing functions does not lead beyond the limits of existentiality (Semyonov A.L., 1979, 1983);
finitely automata definability is (in many cases) existential (there is an admissible move of the automaton);
CSP Constraint satisfaction problem? Generalized satisfiability - the embeddability of a structure is described existentially.
In the structures under consideration and their reducts, quantifiers are existentially eliminated, problems of belonging, CSP, etc. are solvable.

But if we consider finite-automaton structures, then there is not enough existentiality there; in some situations it is necessary to have more complex quantifier prefixes. And this question arises. It is clear that there are structures with infinite quantifier depth. For example, arithmetic with addition and multiplication.

## *Quantifier height*

Logical complexity - (quantifier) height of a space - the minimum number of changes of quantifiers that allows you to obtain the entire space, starting from a finite number of relations.
The problem of space in quantifier height.
Why do naturally occurring structures have small (usually 0 or 1) or infinite heights?
Natural undecidable cases have infinite quantifier height.
It is possible to construct undecidable and decidable cases of any quantifier height.

On the other hand, there are structures with low quantifier height (synonymous with depth). It is possible to construct artificial examples with any fixed quantifier height, with solvability and undecidability, but there are no natural examples of this.
The last interesting concept is a concept belonging to Andrei Muchnik, the son of Albert Abramovich Muchnik and my student. This is the concept of self-determination, which also goes back to Tarski. Tarski proposed definability itself, when it is possible to determine in some structure whether something is definable in it or not. But this means that we simply take an additional symbol, add it not for objects, but for an n-ary relation, and then we take a closed formula with one variable, if in this n-ary predicate, so to speak, variable, we add a definable relation , then true; if indefinable, then false.

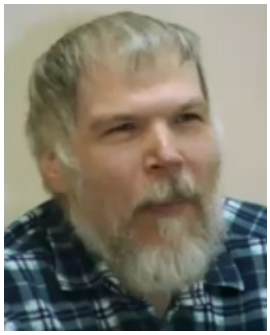
And here is An. Muchnik proved that the space 000 is self-determining and from this he obtained a simpler and more beautiful proof of the Cobham-Semyonov theorem. The question arises when self-determination still exists.
While it is not possible to find situations of self-determination, except for one trivial case, I will not talk about it. Now, we need to consider such natural candidates as

$\langle \mathbb{Z}; + \rangle$

$\langle \mathbb{Q}; + \rangle$ .

Andrei Muchnik, unfortunately, left us in 2007; he was a very talented person, a truly young scientist. His problem remains.

Andrey Muchnik proved his theorem in a successful attempt to simplify the proof of Semenov A.L. Cobham-Semenov theorems. His proof had resonance and the theorem today should be called the Cobham-Semyonov-Muchnik Theorem. The theorem naturally allows us to check definability if the structure in which we write and in which there is addition is decidable (for example, automaton). Obviously, if the set of n-ary relation is finite for each n=1, 2, ..., then the structure is self-determining.



Andrey Muchnik
1958-2007

I think that I have shown a sufficient number of examples and open problems, including, I repeat, probably not so difficult ones that can be dealt with. I invite everyone to collaborate in this interesting area.

*介紹*

親愛的朋友們，我的報告主要討論可定義性問題。 我們將從可定義性概念與可確定性概念相關這一事實開始。 定義是數學及其應用（包括人工智慧領域）的基本概念，就像

模型，

證明，

計算。

因此，可定義性理論是一個數學領域，即定義；更準確地說，這意味著什麼，我們稍後會解釋。

話雖這麼說，可定義性理論的顯著之處在於它有大量未解決的問題，但結果卻不多。 如果我們與模型理論或證明理論相比，其出版物數量達到數千甚

至數萬，那麼可定義性理論的出版物數量則相當數百，或至少數千。 這給我們帶來了希望，可以在這裡獲得一些非常有趣的新結果，包括與實際應用相關的結果。 正如數學中經常發生的那樣，它從抽象結構開始，然後其中一些在實踐中變得非常重要。

讓我們先提出如何透過一個概念來定義另一個概念的問題，或是如何發展某種足以定義一切的概念系統，例如我們想要用特定語言描述的一切。

這並不是一個新想法；可以說，它是在 18 世紀由偉大哲學家萊布尼茨在他的通用語言——通用語言（Lingua Universalis）的想法中發展起來的。

在 21 世紀，我們可以提到一位著名的語言學家，她開始在波蘭工作，現在已經在澳洲生活了 10 年，她提出了一個由 65 個所有人類語言共有的基本概念組成的系統，透過它每種語言都可以定義越來越複雜的衍生概念。

如果從數學的角度來說，可定義性理論的系統表述的起點就是 C.S.關係的邏輯。 皮爾斯，起源於 19 世紀中葉。

再一次，轉向語言思想、語言情境，相應的語境被 N. Chomsky、J. Fodor、G. Lakoff 等主要語言學家考慮。

試著在系統論架構內建構數學理論和理論，這也是本屆大會的主題之一，屬於 R. Wille 和 N. B. Seiler。 顯然，關係資料庫理論也很大程度上與可定義性理論相關。 大數據標籤是可定義性理論的應用面向之一。 當人工智慧提出的這個或那個提案、這個或那個評估、這個或那個解釋需要解釋時，人工智慧的機密性（包括解釋性）現在變得特別重要。 重要的任務之一，即教育的任務，是如何教人們正確提出問題，如何教導人工智慧正確回答問題，並使其結論對人有說服力。 這也與可定義性理論的問題有關。

在數學領域，19 世紀的可定義性理論主要作為應用數學問題而發展，特別是試圖創建幾何和算術基本概念的最佳系統。 這裡有幾個名字，我不會浪費時間列出他們，只要看看著名數學家的名單，包括德國和義大利。 20 世紀可定義性理論的核心人物是阿爾弗雷德·塔斯基，尤其是波蘭學派。 塔斯基在 1930 年向波蘭數學會提交的關於這個主題的報告是眾所周知的。

## *阿爾弗雷德・塔斯基和波蘭學派的作用*
## *可定義性以及可定義性在塔斯基作品中的作用*

1930 年向波蘭數學會提交的報告
消除作為語意的定義，Skolem
Tarski 的學生 Mojzesz Presburger 關於消除整數加法量詞的論文
算術真理的不可定義性 (1933)、哥德爾 (1930)、馮諾依曼、...

另一方面，甚至在此之前，可定義性理論的問題就被提出來試圖確定邏輯語言的形式語義。 這裡特別值得一提的是 Skolem 的工作。

可定義性理論最著名的第一個結果可以被認為是塔斯基的學生 Mojzesz Presburger 的論文工作的結果，他證明了可以消除整數與相應函數符號相加的量詞。

另一方面，算術真理的不可定義性可以被認為是可定義性理論的一個突出的否定結果。



Mojzesz Presburger
1904-1943

在我看來，關於無法確定算術真理的實際陳述是核心，是哥德爾定理的主要內容。 同時，這個結果通常與塔斯基的名字連結在一起。 塔斯基與幾何基本概念相關的工作是眾所周知的。 好吧，假設結果是二元關係不足以定義所有幾何概念。 數理邏輯的頂峰之一，即使在邏輯之外也有意義，是代數和所有數學的一個重要觀點，其結果可以表述為半代數集族在投影下閉集的事實，因此初等幾何具有可解性。 他的這部作品發表於四十年代末，但實際上，成果是在波蘭取得的。 塔斯基本人在他的圓柱代數框架內闡述了可定義性理論的問題，他也稱之為概念代數。

### *美國塔斯基時期*

投影下半代數集的閉性 - 初等代數和幾何的可解性 - 約 1938-1948 年。

圓柱代數 = 概念代數 (1947)

自決，1948 年，（以下簡稱安德烈•穆奇尼克）

邏輯幾何，與 Felix Klein 的 Erlagen 程式相似 什麼是邏輯概念？ 1966 年 5 月 16 日在倫敦大學演講



Tarski Alfred (1902 - 1983)

塔斯基提出的一個有趣的概念是自決；我希望在報告結束時我們會回到這個概念。 塔斯基說，在可定義性理論中，與菲利克斯•克萊因的埃爾拉根綱領的相似之處，這種邏輯幾何學，是清晰可見的。 他在演講《什麼是邏輯概念？》中特別談到了這一點。 1966 年 5 月 16 日在倫敦大學。 在評估塔斯基的整體活動和一般可定義性理論時，艾迪生表示，該理論概括了分析結果、一般拓撲，應該成為數理邏輯的中心分支之一，對電腦科學越來越重要。 另一

方面，它也提到了尼古拉・尼古拉耶維奇・盧津 (Nikolai Nikolaevich Luzin) 1927 年的原創作品。

我們自己的工作始於 20 世紀 70 年代，這項任務是彼得・謝爾蓋耶維奇・諾維科夫(Pyotr Sergeevich Novikov) 的學生阿爾伯特・穆奇尼克(Albert Muchnik) 直接向我提出的。 我們稍後會再回到這個問題。

至此，我想完成歷史介紹並簡單地轉向主要定義；我希望我的報告的所有聽眾都能清楚地了解這一點。 也許不是針對數學家，而是針對那些剛從與邏輯相關的數學課程中獲得基本了解的人。

***可定義性理論的基本概念***

讓我們有某種宇宙，用 U 表示。並且有一種語言 L，關係邏輯的邏輯語言。 這意味著關係名稱被用作非邏輯名稱：double、triple、single 和 null（我們不使用函數名稱）。 當然，使用的是基於宇宙元素的量詞、邏輯連接詞等等。 在這種邏輯語言中，可以透過形成集合 S 的其他關係來定義某些關係 R。這是我們使用的主要定義。

現在，採用一些關係集，甚至可能是一個非常大的、不可數的關係，無論如何，你都可以形成它的閉包——可以透過它定義的一切。 很明顯，這是一個有限運算，在每個公式中都有有限數量的來自 S 的關係名稱。閉包的定義，閉包的情況出現，很明顯，如果我們透過某物定義了某物，那麼我們不會再得到任何新的東西。 一個閉集合出現，可以稱為可定義空間。 這些空間定義了一個格，基於它們之間存在的嵌套關係，您可以定義操作 inf（下確界）和 SU（至上），並且，看哪，每個初始宇宙和初始宇宙都會有這樣一個可定義性格。其上的關係集。 例如，算術可定義性就出現了。 我們拿自然數來說，有一個三位加法關係，一個三位乘法關係。 進一步地，我們可以看到所有的算術關係都會形成一個可定義空間。 子空間是只能透過加法來定義的空間，因此這是一種縮小的情況，術語約簡與之相關，用於可定義的空間。 請注意，我們的定義對於原始關係集的名稱選擇是可變的。 這是可定義性理論領域的一個特定定理的範例，該定理被稱為科巴姆-謝苗諾夫定理

*科巴姆-謝苗諾夫定理*

任何可由在顯著不同的數字系統中運行的有限自動機定義的關係都可以在加法算術中定義。

顯著不同的系統是乘法獨立的數字系統，例如 4 和 8，它們是乘法依賴的數字系統的基數。 比如說，6 和 12 結果是獨立的。 這是自然數加法算術可定義性理論中的定理範例。 讓我們繼續討論可定義性格。 我們也從一個具體

的例子開始。 美國著名數學家愛德華•亨廷頓（Edward Huntington）研究瞭如果我們考慮有序空間的一些子空間，則可以在線性有序集上獲得的空間。 下面是順序本身（空間是透過小於關係可以表達或定義的一切）和其他關係

$(x_1<x_2)$ – 訂單本身；

$(x_1<x_2<x_3)\vee(x_3<x_2<x_1)$ – 「之間」；

$(x_1<x_2<x_3)\vee(x_2<x_3<x_1)\vee(x_3<x_1<x_2)$ – 「循環」；

「分離」（「連結」）：端點 x1、x3 與端點 x2、x4 相交的區間，但不嵌套，相當於同向性（等價性）；

「平等」。

讓我們考慮一下「之間」關係所產生的空間；這裡的幾何意義是顯而易見的。 另外，週期的關係呢，嗯，也很清楚。 如果你黏上這樣一個環，那麼一切都會順時針方向移動。 分離關係，如果有兩個區間（這是四元關係）$[x_1,x_3]$, $[x_2,x_4]$，那麼它們必須相交，但不能嵌套在另一個內部。 另外，指定了等式關係。 用語言簡單地表達出來，這並不奇怪。 所以，我們看到 5 種關係。 在特定情況下，其中一些可能會定義相同的空間。 但是，如果你只用有理數來觀察這 5 個關係，那麼它們定義了不同的空間，我們也會提到如何證明它們的差異。 此外，這 5 個關係產生的空間耗盡了有理數的整個格。 據稱，這一結果是由法國數學家克勞德•弗拉斯奈 (Claude Frasnay) 在 1965 年得出的，隨後又被其他作者反覆重新發現。 包括作者，以及安德烈•穆奇尼克（Andrei Muchnik），在某個時候。 網格如下圖所示：

*圖 1. 有一定狀況的格子*

它有一個最大元素 I – order 本身。 有兩個較小的元素，B – “之間”和 K – “循環”。 它們的交集就是元素 S—「連動」或「分離」。 證明所有這些關係並不困難，這是一個簡單的故事。 好吧，你可以問這個問題，過一會兒我會回答它：想像一下，我們在這個結構中添加一個常量零，會改變什麼以及如何改變？ 顯然，還有更多的東西是可以定義的。 嗯，例如，零本身是可以定義的，這樣的一位關係「為零」。 當然，將確定該比率大於零。 現在我們正在討論的格子中有多少個空間，你現在可以思考並假設會發生什麼。 有序有理數在以下意義上是齊次結構：有限子結構的每個部分同構都擴展到整個結構的自同構。

定義

如果有限（子）結構的每個（部分）同構延伸到整個結構的自同構，則該結構稱為齊次結構。

同質性的這種性質從模型論的角度來看很方便；有大量的工作專門與同質結構相關，包括與序等相關的工作。

另一個值得注意的齊次結構是隨機圖 $R^{(k)}$，對於 k = 2, 3, 4, 5, . . . , 其所有元素 $x_1$, . . . , $x_k$ 都不同，並且它們之間的邊數為奇數。

如果我們取一個隨機無向圖，結果發現這樣的結構也將有五個子空間，並且格子將與我們剛才討論的格子非常相似。

*圖 2. 隨機圖情況的格子*

這一切看起來可能相當無聊。 事實上，我們將會看到事實並非如此。 但首先是一個更通用的設計。 我們知道可定義性很容易被證明；我們需要寫公式。 如何證明不確定性？ 如果你對學生這樣做，他們自己很快就會想出一個想法，你們中的許多人可能也想到過。 帕多亞也想到了這一點（帕多亞的自同構方法），他在 1900 年數學家大會上的報告中談到了這一點，會上希爾伯特提出了他的問題。 這就是自同構的思想。 這意味著，如果我們能夠提出某種自同構，將某些東西留在原處，某些關係，移動其他一些東西，那麼這些移動的東西就不能由那些保留在原處的東西來定義。 因此，對於每個可定義空間，出現了查看其自同構組的想法。 這可以稱為伽羅瓦群，產生伽羅瓦對應，這是該結構的可定義格與新結構的自同構群的閉超群格之間的反單調同態。我們現在不定義封閉性；它具有拓樸意義，這對於定義封閉性來說是很自然的 好吧，那我們得到以下想法：為了證明某些關係是不可定義的，我們需要考慮一組自同構。

***自同構法***

$$\Gamma_S \not\subset \Gamma_{\{R\}} \Rightarrow R \notin [S]$$

S - 可定義空間，

GS 是它的自同構群。

有些問題是有時無法做到這一點，而這正是我們現在要做的。 以下是對於順序關係、「之間」關係（當然也加入了遞減映射）、「循環」（我們看到透過沿著無理部分切割而獲得的線段的重新排列）的這種變換的範例。

*圖 3。訂單轉換圖*

事實證明，如果加上一個常數，就會得到 116 個關係。 也就是說，如果對於有理數的情況，我們加上一位關係為 0，則關係數為 115。如果我們加上一

個無理數點，即這個無理數點越來越多越來越少，那麼結果子空間的數量稍微少了一些，為 53。在考慮了多種情況，特別是齊次圖的情況後，Thomas 提出了以下猜想。

*湯瑪斯猜想*

每個可數齊次有限生成結構都有一個有限可定義格。

人們可能還會問，每個具有有限可定義性格的結構是否都是同質的，這是否正確。

這兩個問題已經開放了大約 40 年。 嗯，想想它們會很有趣。

在ω 範疇結構（其中同構源自基本等價）的情況下，也包括齊次結構，事實證明自同構方法解決了這個問題（Rull-Nardzewski、Engeler 和 Svenonius 在 20 世紀 50 年代末的結果） 。

超群的結構與晶格之間存在著同構。

*同構定理*

任何 ω-範疇結構的可定義格與該結構的自同構群的封閉超群的格是（反）同構的。

$\Gamma_S \not\subset \Gamma_{\{R\}} \Leftrightarrow R \notin [S]$ （S - 可定義空間，R - 關係）

超出 ω 範疇會發生什麼事？ 這正是 L. Svenonius 於 1959 年發表的一個絕對引人注目的定理發揮作用的地方，其原理如下。 如果我們不只考慮結構本身，也考慮其初等解，那麼自同構方法就有效。

*斯維諾尼斯定理*

對於任何可數結構，其可定義格的元素 S 和關係 R ∉ S，存在該結構的初等擴展，其中 $\Gamma_S \not\subset \Gamma_{\{R\}}$ 。

順便說一句，這個結果是相當未知的。 顯然，這是因為它發表在瑞典（拉斯・斯維諾尼烏斯原本是瑞典人，後來住在美國）一本名為《理論》的雜誌上，發行量為幾百本。 而且很長一段時間這個定理沒有被注意到。 但在 1973 年[1]，美國著名數學家（原籍瑞士）伯奈斯的學生、麥克萊恩的同學（後來他們成為了終生的朋友）布奇・J・理查德(Buchi J. Richard) 在研究

塔斯基的文本時，很自然地想知道：有一些關於可定義性的普遍定理嗎？ 特別是塔斯基提到了埃爾拉根計劃等等。 事實證明，是的，存在，所以斯維諾尼烏斯本質上證明了這樣一個可定義性的完備性定理，一方面使用了保留某些東西的變換自同構的思想，另一方面使用了這個思想添加理想元素。

我只會記住克萊因，射影幾何，當添加一些基本理想物件時，允許正確的自同構系統運作。 布奇（Büchi）專門發表了幾篇論文來探討斯維諾尼烏斯結果的這種方法。 現在，我們反過來看一下同質性情況的概括，一般來說，結構不是ω-範疇的，它具有不同的基本等價結構，但可以說，它不能進一步擴展，即，擴展不存在。 但很明顯，在這種情況下，斯維諾尼烏斯定理給出了答案：如果結構是向上完整的，即它不能進一步展開，那麼在這裡，準確地說，我們可以考慮結構本身及其子空間的所有自同構。 將存在同構，伽羅瓦對應將是反同構。

因此，當僅存在其擴展而無處進一步擴展時，就出現了向上補充結構的定義。 我們得到了這種結構的完備性定理；不再需要理想元素，所有這些都在結構本身中完成。 自同構方法開始充分發揮作用。

*定義*

如果一個結構的所有基本外延都與它同構，那麼它就是向上完整的。

*向上完備結構的完備性定理*

如果一個結構具有向上完備的初等擴張，那麼它的可定義格子與其自同構群的閉超群格是（反）同構的。

$\Gamma_S \not\subset \Gamma_{\{R\}} \Leftrightarrow R \notin [S]$ ，S-滿空間，R-比率。

事實證明，在各種自然結構中，都會發生同樣的向上豐滿：

有理序 $\langle \mathbb{Q}; < \rangle$ - 均質結構，基本上等價於 $\langle \mathbb{R}; < \rangle$ （5 元晶格），向上補充結構 $\langle \mathbb{Z}; + \rangle$ 、$\langle \mathbb{Q}; + \rangle$ 。

特別是，這種結構包括對整數的研究，即二元關係 $\langle \mathbb{Z}; +1 \rangle$ ，一個數字比另一個數字大，在這種情況下，我們不再得到一個有限的結構，而是一個可數的結構，由三個相當容易理解和自然的結構組成一系列關係，如下所示，

*定理*

讓我們把（波浪號的意思是“定義相等”，$S_2 \triangleright S_1$ 表示將一組關係 S2 的可定義空間嚴格嵌套到同一載體上的一組關係 S1 生成的可定義空間中，參見[2]）

$$A_{0,n}(x_1, x_2) \sim |x_1 - x_2| = n,$$

$$A_{1,n}(x_1,x_2,x_3,x_4)\sim x_1-x_2=x_3-x_4=n\vee x_1-x_2=x_3-x_4=-n,$$
$$A_{2,n}(x_1,x_2)\sim x_1-x_2=n.$$

然後對於某個 i ⩽ 2 和自然 n，每個元素 $\langle\mathbb{Z};+1\rangle$ 由 $A_{i,n}$ 產生；對於每個 0 < i ⩽ 2 和自然 n, m

$A_{i,n} \triangleright A_{i-1,n}, A_{i,n} \triangleright A_{i,m} \Leftrightarrow$ n 除 m;

$$[A_{i,d}]\cup[A_{j,k}]=[A_{m,n}], m=\max\{i,j\}, n=GCD(d,k);$$
$$[A_{i,d}]\cap[A_{j,k}]=[A_{m,n}], m=\min\{i,j\}, n=LCM(d,k);$$

所有 $A_{i,n}$ 都不同。

產生例如“距離等於 n”，或類似於連結的東西，它是這樣一個同向，“距離等於 n”並且指向一個方向。 在這裡，我們得到了相應的自同構群的描述，即晶格的完整描述，這是我們與 Soprunov S.F. 合作的結果，大約 2-3 年前獲得[2]。

此外，一個已經懸而未決的問題開始了。 我警告說，最初存在著許多未解決的問題。 舉例來說，如果您採用的不是整數而是自然數加一，會發生什麼事。 似乎應該出現大致相同的結果，嗯，從某種意義上說，是的，它會解決，儘管問題已正式開放，但在我看來，如何搬到這裡是很清楚的。

## *可能的選項和概括*

可數宇宙，有限簽名。

補給建設

<N; +1>;

Z × Z - 兩個通勤序列;

多條免費步道;

無根二元樹，例如，一個軸 - <Z; +1> 移位為 0，在每個點我們添加一條邊 - 移位為 1，根二進制從中增長，0 和 1 從每個點出來，0 或 1 進入每個點;

您可以擦除邊緣的標記和方向。

我們可以考慮兩種通勤後果，而不是整數。 你可以看看這樣的方格紙，你可以向右、向左、向上、向下移動，這就是結構，以及在這種情況下的格子 例如，您可以考慮的不是一個通勤序列，而是一個自由的，即無限二叉樹，並繼續沿著該樹的邊緣移動。 你可以標記它們，你不能標記它們，你可以尋

找根的存在，你不能看它們，一些豐富的結構將會出現。 可以給出與這種情況相關的一般定義，在某種意義上，同質性思想的離散版本，它允許我們建構相應的自同構群。

## *大概的概念*

齊次條件：有限全局 -
有限子結構的同構擴展到結構的自同構；
最終的子結構可能包含遙遠的元素。

局部同質性：簽名中的二元關係等。
有限連通結構（圖）的同構擴展到結構的自同構。

如果我們嘗試沿著整數進一步移動，那麼會發生的情況是，如果我們考慮整數上的亨廷頓關係，就會出現相應的結構，我們可以考慮子空間。

## *下一步*

整數的順序
亨廷頓關係的同態；
整數級數的類似物；
補貨最多 $\mathbb{Z}\times\mathbb{Q}$ 。

整數和自然數的序列和階
週期性和幾乎週期性的單身關係；
幾條小徑，樹木。

並且隨著補給出現了一種情況，出現了這些相同系列的類似物，並且儘管如此，具有順序關係的整數的問題也是開放的。 我們還不知道確切的答案。好吧，那麼你可以逐漸擴展結構的類別，例如，在自然整數上添加週期性或幾乎週期性的一元關係，然後看看會發生什麼。

## *透視（遠距離？）*

整數（自然）數的加法
A1 提出的任務。 穆奇尼克•謝苗諾夫 A.L. （約 1970 年）參考 P.S.

諾維科夫（與科巴姆的概括同時進行）

補貨上來；

尋找新的關係/「清晰安排」的擴展。

我首先想說的是，阿爾。 例如，穆奇尼克提出了整數加法問題。 好吧，我立刻設定了推廣科巴姆定理的任務，這一點我已經提過。 事實證明，情況相當複雜，距離整數加法問題的最終解決方案還很遠。

## *消除量詞*

最終關係簽名

同質結構允許消除量詞

Presburger 的算術不允許這樣做（即使你使用函數符號）。

允許無限簽名會使問題變得不確定。

這裡，另一類問題，包括與人工智慧問題、自然語言分析相關的問題，涉及消除量詞的問題。 你記得普雷斯堡的算術是存在主義的，因為它可以消除量詞，但不是完全消除，但深度為一。 也就是說，你可以取代存在量詞，那麼一切就解決了。 在齊次結構中，量詞被簡單地消除；在那裡，每個公式都相當於一個無量詞的公式。

現在讓我們來看看量詞前綴有多複雜。 在 Presburger 算術中，你可以添加一個快速增長的函數，這些是我 20 世紀 70 年代和 80 年代的作品。

## *量詞的存在消除*

如果我們只允許存在量詞，我們會得到：

演算法的可解性；

用關係名稱取代功能名稱的能力；

Presburger 的算術是存在性的，快速成長的函數的增加不會導致超出存在性的限制（Semyonov A.L.，1979，1983）；

有限自動機的可定義性（在許多情況下）是存在的（自動機有一個可接受的移動）；

CSP 約束滿足問題？ 廣義可滿足性－結構的可嵌入性是存在性描述的。

在所考慮的結構及其簡化中，量詞在存在上被消除，歸屬、CSP 等問題是可以解決的。

但如果我們考慮有限自動機結構，那麼那裡就沒有足夠的存在性；在某些

情況下，有必要有更複雜的量詞前綴。 這個問題就出現了。 很明顯，存在著具有無限量詞深度的結構。 例如，加法和乘法算術。

## *量詞高度*

邏輯複雜度-（量詞）空間的高度-允許您從有限數量的關係開始獲得整個空間的量詞變化的最小次數。

量詞高度的空間問題。

為什麼自然存在的結構具有較小的高度（通常為 0 或 1）或無限高？

自然不可判定的情況具有無限量詞的高度。

可以構造任何量詞高度的不可判定和可判定的情況。

另一方面，存在量詞高度較低的結構（與深度同義）。 可以建構具有任何固定量詞高度、可解性和不可判定性的人工範例，但沒有這樣的自然範例。

最後一個有趣的概念是屬於安德烈·穆奇尼克的概念，他是阿爾伯特·阿布拉莫維奇·穆奇尼克的兒子，也是我的學生。 這就是自決的概念，這也可以追溯到塔斯基。 塔斯基提出了可定義性本身，即可以在某種結構中確定某些東西是否可定義。 但這意味著我們只需採用一個附加符號，不是為物件添加它，而是為 n 元關係添加它，然後我們採用一個帶有一個變數的封閉公式，如果在這個 n 元謂詞中，可以這麼說，變量，我們添加一個可定義的關係，則為 true；如果不可定義的關係，則為 false。

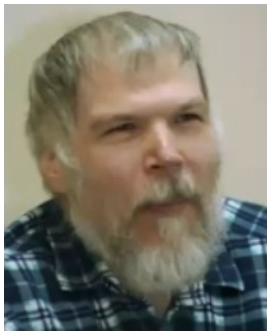
這是安。 穆奇尼克證明了空間 000 是自決定的，並由此得到了科巴姆-謝苗諾夫定理的更簡單、更漂亮的證明。 當自決仍然存在時，問題就出現了。

雖然不可能找到自決的情況，但除了一件小事外，我不會談論它。 現在，我們需要考慮這樣的自然候選人：

$$\langle \mathbb{Z}; + \rangle$$
$$\langle \mathbb{Q}; + \rangle .$$

不幸的是，Andrei Muchnik 於 2007 年離開了我們；他是一位非常有才華的人，一位真正年輕的科學家。 他的問題仍然存在。

Andrey Muchnik 在簡化 Semenov A.L. 證明的成功嘗試中證明了他的定理。 科巴姆-謝苗諾夫定理。 他的證明引起了共鳴，今天的定理應該被稱為科巴姆-謝苗諾夫-穆赫尼克定理。 如果我們編寫的結構和其中存在加法是可判定的（例如自動機），則該定理自然地允許我們檢查可定義性。 顯然，如果 n 元關係的集合對於每個 n=1, 2, ...都是有限的，那麼該結構是自決定的。



Andrey Muchnik

1958-2007

我認為我已經展示了足夠數量的範例和開放性問題，包括，我重複一遍，可能不是那麼難以處理的問題。 我邀請大家在這個有趣的領域合作。

***Литература*** ***References*** ***參考書目***

1. Buchi J. Richard., Danhof Kenneth J. Definibility in normal theories, in The Collected Works of J. Richard Büchi, Springer Science & Business Media, 2012, 696p.

2. Семёнов А.Л., Сопрунов С.Ф. Решетка определимости (редуктов) для целых чисел с операцией следования, Изв. РАН. Сер. матем., 2021, том 85, выпуск 6, 245–258.

## *5. Выводы*

В этой статье мы предлагаем парадигму Non-MapReduce для распределенного анализа больших данных. В качестве входных данных он принимает фрагменты случайной выборки, а не весь набор данных. Принимая этот подход, итерационные алгоритмы выполняют итерации разделов данных параллельно и независимо, что значительно снижает затраты на ввод-вывод и связь. Результатом является агрегирование результатов, полученных из разделов данных. Мы реализуем парадигму Non-MapReduce, расширяя Spark и представляя вычислительную среду LOGO. Он эффективен при вводе-выводе и обмене данными, способен выполнять итеративные аналитические алгоритмы с наборами данных терабайтного масштаба и имеет простую модель параллельного программирования. Мы также применяем структуру LOGO к часто используемым алгоритмам контролируемого обучения, неконтролируемого обучения и частым алгоритмам интеллектуального анализа наборов элементов. Результаты экспериментов демонстрируют эффективность и результативность LOGO.

### I. 绪论

大数据分析技术支持数据驱动的决策制定，已成功应用于智慧城市 [1]、欺诈检测 [2]–[4]、疾病诊断与预测 [5], [6]、工业生产 [7], [8] 和天气预报 [9] 等领域。目前，处理和分析大数据的需求正在大幅增长，根据 Statista 的报告[1]，2022 年全球产生的数据总量约为 97 ZB，预计到 2025 年将增至 181 ZB；Precedence Research[2]展示，2022 年全球数据分析市场规模为 413.9 亿美元，预计到 2030 年将超过 3463.3 亿美元。

现如今，分布式计算平台和系统 [10] 被广泛用于处理大数据。使用单台机器处理和分析大数据的成本过高，很多情况下已经变得物理上不可能。当下流行的通用分布式平台如：Hadoop[3] 和 Spark[4]，都采用了 MapReduce 计算范式。如图 1所示，大数据文件被分成较小的块存储在分布式文件系统中。分析任务通过对这些块进行 Mapper 和 Reducer 迭代操作来完成。一次完整的迭代过程包括 Mapper 和 Reducer 两个阶段，在 Mapper 和 Reducer 阶段之间还存在 shuffle 操作。该操作会导致 N-to-N 的数据传输，并产生与算法中的迭代次数成正比的通信开销 [11]。

本地分布式机器学习系统如 TensorFlow [12]、MXNeT [13]、DIANNE [14] 和 PyTorch [15] 均采用参数服务器架构。如图 2所示，每个工作节点使用本地数据计算本地参数。CPU 负责初始化、存储和更新参数，而 GPU 则将输入数据转换为张量并训练模型，然后在服务器节点上汇总和更新全局模型参数。该过程需

*为通讯作者

[1]https://www.statista.com

[2]https://www.precedenceresearch.com/data-analytics-market

[3]https://hadoop.apache.org

[4]https://spark.apache.org

要迭代进行，且每次迭代都会在工作节点与服务器节点产生通信开销。

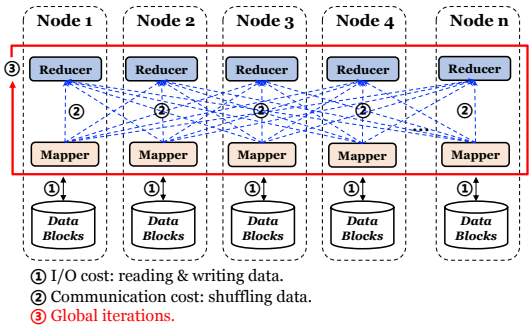



图 1: MapReduce 计算范式

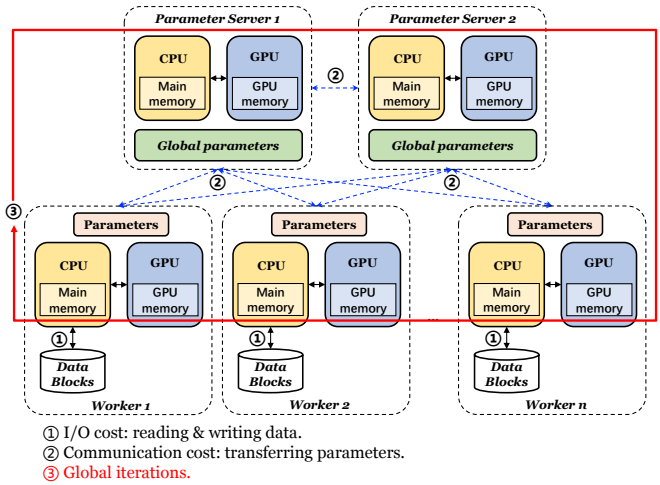



图 2: 参数服务器架构

分类 [16]、聚类 [17] 和模式挖掘 [18] 等常用的分析算法都是迭代算法，需要对整个数据集进行多次扫描和处理。因此，在执行迭代算法处理大数据时，MapReduce 计算范式和参数服务器架构存在以下限制。

- 通信开销高。在 MapReduce 计算范式和参数服务器中，执行迭代算法时的通信成本发生在连续两次迭代之间。在进入下一次迭代之前，所有机器都需要发送和接收数据和参数。因此，随着迭代次数和数据量的增加，通信成本也会大幅增长。
- 内存需求高。数据量超过系统的内存（RAM）容量会导致频繁的内存交换，即在内存和二级存储之间移动数据，该操作需要很高的时间成本。Spark 通过使用一种名为弹性分布式数据集（RDD）的分布式抽象内存数据结构，来降低数据输入和输出成本。当处理大数据时，Spark 需要大量的 RAM 进行内存计算。但是在数据量快速增长的条件下，靠增加大量的内存提高处理能力的 Spark 解决方案是不切实际的。
- 并行编程困难。在当前的分布式系统中，将分析算法转换为相应的并行算法是一项繁琐且复杂的工作。程序员必须使用现有的编程接口重写分析算法。此外，对并行程序进行调试和优化往往困难又耗时。

将大数据集划分为数据块作为大数据集的随机样本，例如随机样本划分（RSP）数据模型 [19]，便可以消除上述限制。这种数据表示方式允许每个数据块在一个计算节点中采用迭代算法进行独立处理，并允许多个数据块以大规模并行方式用同一算法进行处理。然后，各个数据块结果被传输到主节点，以计算最终结果。本文将讨论的这种 Non-MapReduce 计算范式，在大数据分析中具有以下优点。

(i) 可扩展性。在处理不断增长的数据量（如 TB 级数据）时，迭代算法能够在合理的时间内做出响应。

(ii) I/O 效率高。当内存不足以存储数据分区和中间结果时，内存交换并不频繁。

(iii) 通信开销低。在进行迭代时，计算节点之间的通信成本低。

(iv) 迭代算法的简单并行编程模型。复杂的迭代算法可轻松封装成算子，并可以并行执行。

本文的内容组织如下。首先，回顾了 Non-MapReduce 计算范式的核心技术——RSP 数据模型和 LOGO 计算框架，以及它在 Spark 中的实现。然后，使用监督学习、无监督学习和模式挖掘三种机器学习算法来说明 Non-MapReduce 计算范式在大型数据集上执行这些迭代算法的主要步骤。其次，提供模拟结果来展示在 10TB 级别的大数据集上运行机器学习算法时，Non-MapReduce 计算范式的高效性和数据可扩展性。最后，总结 Non-MapReduce 计算范式在大数据分析中的优势。

## II. Non-MapReduce 计算

Non-MapReduce 计算范式由两项核心技术提供支持–RSP 数据模型 [19] 和 LOGO 计算框架，前者可将分布式数据文件的数据块用作大数据文件的随机样本，后者则是在本文中为实现 Non-MapReduce 计算范式而

提出的新的计算框架。下面两节详细介绍这两项技术，后续介绍在 Spark 中的实现。

### A. RSP 数据模型

分布式数据文件是以一组数据块的形式保存并分布在集群的各个节点上，由分布式文件系统（如 HDFS [20]）管理。RSP 数据模型将大数据集表示为 RSP 数据块 [19] 的集合，这些数据块也是分布式保存在计算集群上并由 HDFS 管理。每个 RSP 数据块都是由随机样本划分算法 [21] 生成，是大数据集的随机样本，因此，可用于计算大数据集的统计估计值。

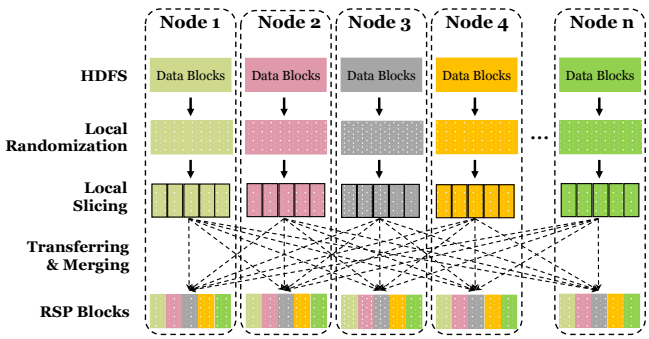



图 3: 算法 $\mathbb{T}$ 的工作流程

假设 $\mathbb{D} = \{r_1, r_2, \cdots, r_N\}$ 为一个包含 $N$ 条记录的多变量数据集，每一条数据 $r_i = (x_1, x_2, \cdots, x_M)$ 有 $M$ 个特征，每一个特征 $x_i$ 是一个随机变量。记 $\mathbb{T}$ 为一个随机样本划分算法，将 $\mathbb{D}$ 切分成 $K$ 不相交的子集 $D_1, D_2, \cdots, D_K$。这些生成的子集满足以下三个特性：

(i) $\mathbb{D} = \cup_{i=1}^{K} D_i$。

(ii) $D_i \cap D_j = \emptyset$, $1 \le i, j \le K$, $i \ne j$。

(iii) $|F(D_i) - F(\mathbb{D})| < \delta$ 对于 $1 \le i \le K$ 成立，其中 $F()$ 是数据集的累积分布函数（CDF），$\delta$ 是一个小的正数。该特性说明所有 RSP 数据块的 CDF 必然与数据集的 CDF 相似。

$D_1, D_2, \cdots, D_K$ 的集合称为 $\mathbb{D}$ 的一个 RSP 数据模型。算法 $\mathbb{T}$ [21] 的工作流程（如图 3）如下：假设数据存储在 $n$ 台机器（又称节点）上，每个节点存储有 $K$ 个数据块。首先，节点对每一个数据块中的所有记录进行随机化处理，然后切成 $K$ 个小块，这一过程在所有节点上并行执行。然后，每个节点从所有其他节点接收一个小块，将接受的小块与本地的一个小块合并重组为 RSP 块。最后，将获得的 RSP 块保存在 HDFS 中。图 3显示了算法 $\mathbb{T}$ 的工作流程。

### B. LOGO 计算框架

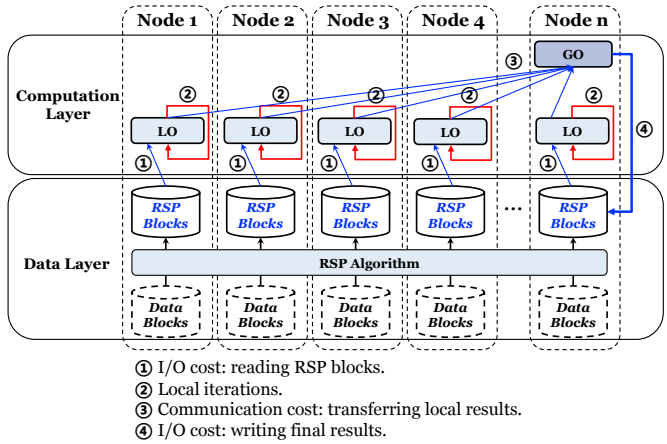



图 4: LOGO 计算框架

给定一个数据集 $\mathbb{D}$ 作为 RSP 数据模型，在 Non-MapReduce 计算范式下，$\mathbb{D}$ 的分析任务是在集群上的局部操作与全局操作（LOGO）计算框架下执行的。LOGO 计算框架由数据层和计算层组成，如图 4所示。

在数据层，数据文件以 RSP 块的形式分布式地存储在 $n$ 个节点上。通常，一个 RSP 块对应一个待分析数据文件的随机样本。在计算层，分析任务的执行过程由局部阶段和全局阶段组成，所有节点（`LO` workers）都可以参与局部阶段计算操作，而全局阶段只需要一个节点（`GO` master）负责计算操作即可。

**局部阶段。** 每个`LO` worker 在不与其他`LO` worker 通信的情况下，对节点本地的 RSP 数据块执行本地局部操作。局部操作可以是简单的算法，也可以是高度迭代的算法。在局部阶段结束时，每个`LO` worker 会生成一个基于节点本地单 RSP 数据块的局部模型。

**全局阶段。** 当所有`LO` worker 完成本地局部任务后，`GO` master 将收到通知并通过远程过程调用的方式从所有`LO` workers 上读取局部模型，然后将执行一个全局操作，将所有局部模型合并成最终的全局模型，并保存到存储器中。

不同于迭代多对 map 和 reduce 操作来执行迭代算法而存在巨大数据通信开销的 MapReduce 计算范式，LOGO 计算框架可以在每个`LO` worker 中并行地完成执

行迭代算法而无需数据通信，因此，它在执行迭代算法时效率非常高。

### C. Spark 实现

采用 RSP 数据模型和 LOGO 计算框架的 Non-MapReduce 计算范式是在 HDFS[5]和 Spark 上实现的。接下来详细介绍三个组件。

**(i) RspRDD**。Spark 使用 RDD 在计算之间共享数据。遵循这一理念，通过扩展 Spark 中的 RDD，创建了一个名为`RspRDD`的抽象对象来进行数据共享。HDFS 中的 RSP 块在 Spark 中由`RspRDD`表示，它可以并行操作，具体定义如下所示：

```
class RspRDD[T: ClassTag](prev: RDD[T])
                          extends RDD[T](prev){...}
```

**(ii) RSP 转换**。提供了将数据块中的数据随机化并切片为 $K$ 个小块的方法`RandomizeAndSlice()`。用户可以在下面的代码片段 (Scala 版本的 Spark API) 中使用它，从而将 HDFS 中的数据块转换为 RSP 数据块。第 1 行指定要转换的数据文件和 RDD 中分区的数量 $K$。第 2 行将函数`RandomizeAndSlice()`传递给 Spark API 函数`mapPartitions()`，以便在所有节点的每个数据块上执行局部随机化和切片。然后，为每个小数据块分配一个范围区间为 $[1, K]$ 的整数键。第 3 行调用 Spark API 函数`reduceByKey()`传输和合并小数据块，从而在每个节点上生成 RSP 块。最后将这些 RSP 块保存到 HDFS 中。

```
1: val RDD1 = sparkContext.textFile(filepath, K)
2: val RDD2 = RDD1.mapPartitions(RandomizeAndSlice())
3: val rspRDD = RDD2.reduceByKey()
4: rspRDD.saveAsTextFile(rspfilepath)
```

**(iii) LOGO APIs**。LOGO 计算框架中的局部操作和全局操作分别用`LO()`和`GO()`表示。函数`LO()`首先处理作为 RDD 分区的输入 RSP 块，并在每个 RSP 分区上输出一个局部模型。函数`GO()`会合并函数`LO()`生成的所有局部模型，并输出最终模型。LOGO API 支持 Java、Scala、Python 等多种编程语言，其函数的详细说明如下。

- `rspTextFile(rspfilepath)`：在 HDFS 中加载 RSP 数据文件，并返回一个`RspRDD`对象，该对象将 RSP 数据块表示为 RDD 中的一个 RSP 分区。
- `getSubPartitions(m)`：随机选择 $m$ 的 RSP 分区。
- `LO(L_Algorithm())`：接受一个用户定义的函数`L_Algorithm()`，该函数可以是任何分析算法。它将函数`L_Algorithm()` 分派给所有`LO` workers。每个`LO` worker 将函数`L_Algorithm()` 应用到自己本地的 RSP 分区，然后从每个 RSP 分区生成一个局部模型。类似地，函数`LO(preProcess())` 则指定了在每个 RSP 分区上进行数据预处理的函数。例如，在执行函数`LO(L_Algorithm())` 之前运行函数`LO(preProcess())`表示在建模之前进行数据预处理操作。
- `GO(G_Algorithm())`：它接受一个用户自定义的函数`G_Algorithm()`，该函数合并所有局部模型并生成最终模型。

**客户端程序**。下面的 Scala 代码片段展示了一个使用 LOGO 计算框架的应用示例。第 1 行为指定的 RSP 数据文件准备一个`RspRDD`对象。第 2 行获取 $m$ 个 RSP 分区。第 3 行对每个数据分区进行预处理。第 4 行在每个 RSP 分区上执行函数`LO()`，并返回 $m$ 个本地局部的模型。第 5 行执行函数`GO()`，该函数通过合并 $m$ 个局部模型产生最终的结果。第 6 行将最终模型保存在 HDFS 的指定`filepath`位置。

```
1: val rspRDD = sparkContext.rspTextFile(rspfilepath)
2: val dataRDD = rspRDD.getSubPartitions(m)
3: val trainRDD = dataRDD.LO(preProcess())
4: val modelRDD = trainRDD.LO(L_Algorithm())
5: val resultRDD = modelRDD.GO(G_Algorithm())
6: resultRDD.save(filepath)
```

从这个例子中可以看到，使用 LOGO 计算框架来编写分析任务的应用程序变得更加容易。

## III. LOGO 计算框架下的机器学习算法

机器学习算法被广泛应用于大数据分析，其中，大多数算法都是在数据集上迭代搜索最优解。Non-mapreduce 计算范式在 LOGO 计算框架支持下执行迭代机器学习算法具有优势。下面使用监督学习、无监督学习和模式挖掘三种机器学习算法来演示如何在 LOGO 计算框架下进行数据分析。

### A. 有监督学习算法

在 LOGO 计算框架中，有监督学习算法在局部阶段使用局部 RSP 块在每个计算节点上训练出一个模型，并在全局阶段将所有局部模型汇总为最终模型。

**局部阶段**。步骤如下：

[5]https://hadoop.apache.org/docs/r1.2.1/hdfs_design.html

(i) 局部函数在每个LO worker 上执行，将局部输入的 RSP 分区块分为训练集和测试集。

(ii) 调用相应的有监督学习算法，并在训练集上生成局部模型。

(iii) 根据测试集获得本地模型的准确度。

(iv) LO workers 将本地模型发送给GO master。

**全局阶段**。有了LO workers 生成的局部模型，接下来设计全局函数来合并局部模型。合并局部模型的方法多种多样，如加权平均法 [22]–[24], 投票法 [25]–[27], 再学习法 [26], [28], [29] 等。本文采用投票法的思想，提出了全局函数G_SupervisedLearning。它采用一组局部模型，且每个模型都与准确度相关联。将局部模型集按准确度升序排序，基于中心极限定理 [30] 去除准确度前 5%和后 5%的局部模型，从而提高预测结果的置信度。设 $M$ 为剩余的本地模型集，对于输入数据集 $D$ 中的每个数据记录，它通过对 $M$ 中的局部模型进行多数表决投票 [31] 的方式来生成预测标签。

### *B. 无监督学习算法*

在 LOGO 计算框架中，无监督学习算法在局部阶段时，每个计算节点使用本地的 RSP 块进行聚类。全局阶段则由GO master 对所有计算节点上的局部聚类结果进行聚合。

**局部阶段**。步骤如下：

(i) 本地函数在每个LO worker 上执行。它调用 SMILE [6]库中相应的无监督学习算法，并在本地 RSP 分区上生成一个本地模型。

(ii) 每个局部模型由一组聚类中心组成，都会发送给GO master。

**全局阶段**。给定由LO workers 生成的聚类中心集，全局函数对所有局部聚类中心进行聚类，生成新的聚类中心 $\theta$，然后将每个数据点分配到与其最近的聚类中心。

### *C. 频繁项集挖掘算法*

在 LOGO 计算框架中设计并实现了两种频繁项集挖掘算法：FIM_I和FIM_II。给定支持度阈值 $\delta$，这两种算法都使用一组 $m$ 个 RSP 分区来计算近似频繁项集。

算法FIM_I包含三次通信。首先，每个LO worker 通过在本地 RSP 分区上执行现有的频繁项集挖掘算法

[6]https://pypi.org/project/smile

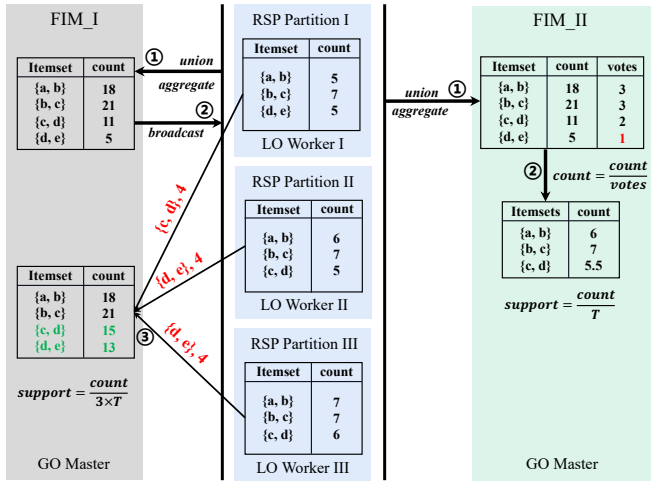



图 5: LOGO 中频繁项集挖掘算法

(如 FP-Growth 算法 [32]) 来计算本地频繁项集 $S_L$；然后，LO workers 将它们的本地结果 (项集-数量对) 发送给GO master，GO master 将收到的项集联合起来并按项集汇总计数后，向LO worker 广播联合集 $S_G$。接下来，每个LO worker 计算 $S_G \setminus S_L$ 中各项集的计数，并将结果发送回GO master。最后，GO master 更新 $S_G$ 中项集的计数，并最终确定频繁项集。每个项集的支持度按照 $count/(m \times T)$ 来计算，其中 $m$ 是 RSP 分区的数量，$T$ 是每个 RSP 分区中的交易数量。图 5左侧展示了算法FIM_I的工作流程。在步骤 ① 中，三个LO worker 计算各自的本地频繁项集 $S_L$，再将本地结果发送给GO master。在步骤 ② 中，GO master 将联合集 $S_G = \{\{a, b\}, \{b, c\}, \{c, d\}, \{d, e\}\}$ 广播给LO workers。在步骤 ③ 中，每个LO worker 计算 $S_G \setminus S_L$ 中项集的计数，然后LO worker I 向GO master 发送 $(\{c, d\}, 4)$, LO worker II 发送 $(\{d, e\}, 4)$, LO worker III 发送 $(\{d, e\}, 4)$。最后，GO master 最终确定项目集的计数。给定 $m = 3$、$T = 10$ 和支持阈值 $\delta = 0.5$ 的条件下，频繁项集为 $\{a, b\}$、$\{b, c\}$ 和 $\{c, d\}$。

算法FIM_II只通信一次。首先，与FIM_I算法类似，所有LO worker 在自己的 RSP 分区上计算频繁项集，并将本地结果发送给GO master。除了汇总收到的本地结果外，GO master 还从LO worker 收集每个项集的投票。如果一个项集出现在一个LO worker 的本地结果中，它将会获得一票 [33]。然后在GO master 端，对于投票率 $votes/m$ 大于 $\lambda$ 的项集，其计数更新为

$count = count/votes$。接下来，再通过 $count/T$ 计算每个项目集的支持度。最后根据给定的支持阈值 $\delta$ 确定频繁项集。图 5右侧展示了算法FIM_II的工作流程，其中 $\lambda = 50\%$、$m = 3$、$T = 10$、$\delta = 0.5$。在步骤 ① 中，三个LO worker 计算各自的本地频繁项集，再将本地结果发送给GO master。然后，GO master 按项集汇总计数并收集投票。在步骤 $textcircles2$ 中，由于项集 $\{d, e\}$ 的投票比率为 1/3，小于 $\lambda = 50\%$，故将其丢弃。接下来再更新其他三个项集的计数，得到频繁项集为 $\{a, b\}$, $\{b, c\}$, and $\{c, d\}$.

## IV. 实验评估

为了展示 LOGO 计算框架的有效性和高效性，本文将其与 Spark 的三种配置进行了比较：

- `Spark`：在 Spark 上使用整个数据集运行算法。
- `Online-Sample-Spark`：首先调用 Spark 中内置的采样算子来获取样本数据（原始数据集的 5%），然后在样本数据上运行算法。
- `Sample-Spark`：与 Online-Sample-Spark 相同，但不包括采样操作的时间成本。

在包含 32 个计算节点的集群上进行实验评估。其中，24 个节点各配置 2 个 16 核，频率为 2.6GHz 的 Inter Xeon E5-2650 CPU 和 128GB 的内存；8 个节点各配置 2 个 12 核，频率为 2.6GHz 的 Inter Xeon E5-2650 CPU 和 128GB 的内存。集群上运行的是 Spark 2.4.0 和 YARN 3.0.0。本实验使用 YARN 为每个算法分配最多 100 个虚拟机和 1.6TB 内存。

### A. 有监督学习算法的性能

本文使用 100 维的数据集来评估四种有监督学习算法的性能：决策树、随机森林、逻辑回归和支持向量机。图 6 和 7 给出了这四种有监督学习算法在 LOGO 计算框架和三种 Spark 内置方案下，当数据集大小从 50GB 增加到 10TB 时的运行时间和准确率。

Spark的运行时间随着数据集大小的增加呈指数增长。当数据集大于 1.5TB 时，其计算成本很高，这是因为Spark在整个数据集上执行有监督学习算法，算法需要迭代，所以通信开销很大。而Online-Sample-Spark和Sample-Spark都是在整个数据集的样本上执行有监督学习算法，因此，它们的运行时间随着数据集大小的增加而线性增加。然

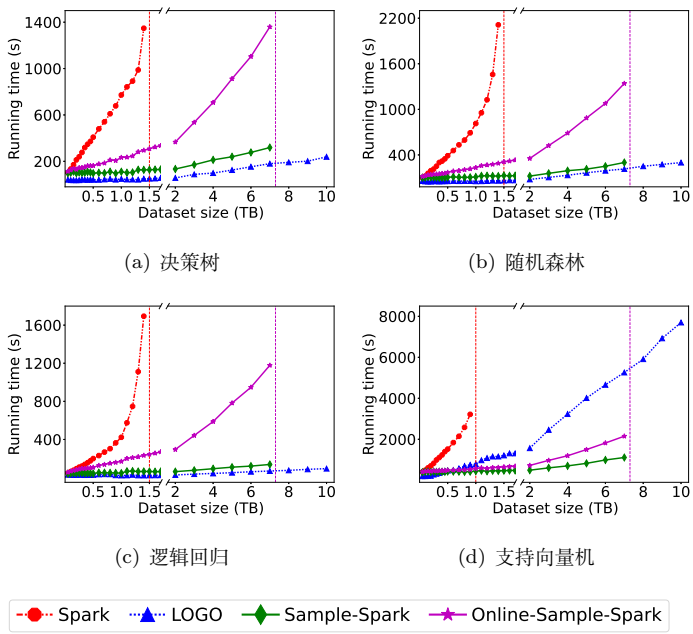



图 6: 有监督学习算法的运行时间

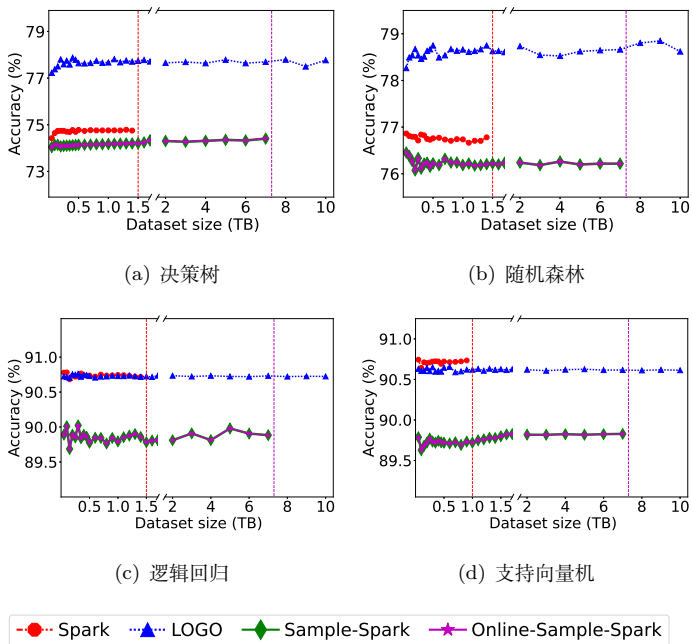



图 7: 有监督学习算法的准确度

而，当数据集大于 2TB 时，Online-Sample-Spark的运行时间迅速上升，这是因为在大数据集上进行在线采样速度很慢。除去在线采样的时间成本，可以观察到Sample-Spark和LOGO的运行时间相近。LOGO比Sample-Spark运行更快，原因是在相同的数据

量下，Sample-Spark在每次迭代结束时都有通信成本，而LOGO在局部阶段进行迭代计算，只有在局部阶段结束时才有通信成本。

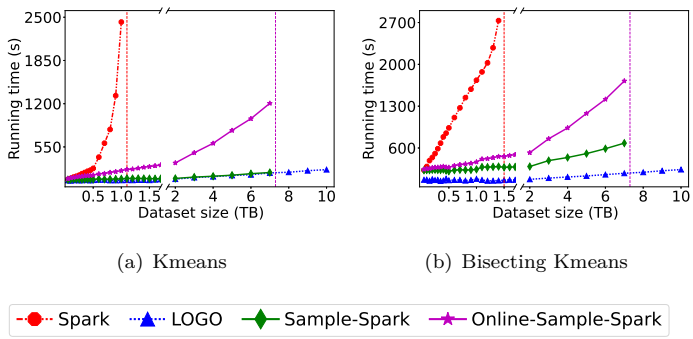
除在线采样操作外，Online-Sample-Spark与Sample-Spark是一样的，得到的结果和精度相同。Spark在整个数据集上学习模型，而Online-Sample-Spark和Sample-Spark使用数据集的样本进行学习。因为他们的学习过程是一样的，所以Spark的准确率高于Online-Sample-Spark和Sample-Spark。对于决策树和随机森林算法，LOGO的准确率优于Spark，这是因为LOGO中的学习过程类似于集成学习，而集成学习已被证明是决策树和随机森林算法 [34], [35] 的有效策略。所以，即便LOGO在数据集的一个样本上学习模型，但它得到的性能比Spark更好。然而对于逻辑回归和支持向量机算法，LOGO的准确率与Spark相接近。原因可能是Spark的精度较高，在 90%以上，因此，LOGO 改进的空间有限。

### *B. 无监督学习算法的性能*

本文使用 100 维的数据集来评估两种无监督学习算法的性能：Kmeans 和 Bisacting Kmeans。图 8和9给出了这两种无监督学习算法在 LOGO 计算框架和三种 Spark 内置方案下，当数据集大小从 50GB 增加到 10TB 时的运行时间和 Purity 以及 C-dist 度量结果。

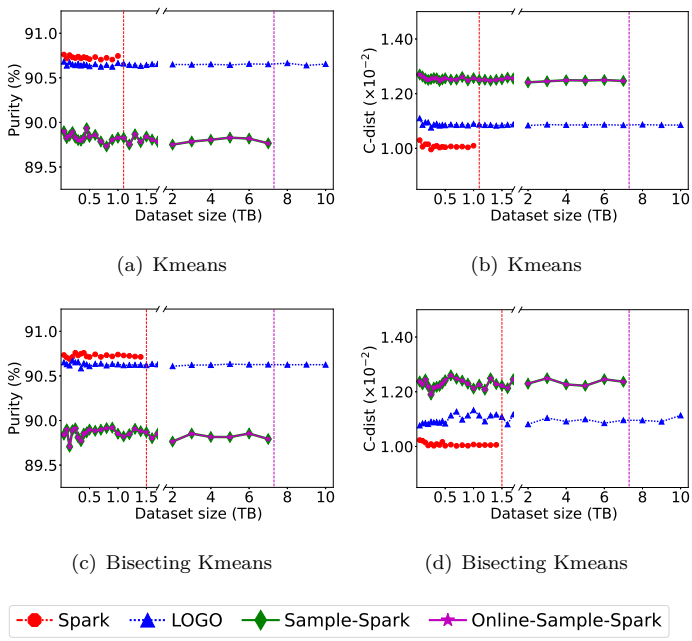
与有监督学习算法的实验结果类似，Spark的运行时间随着数据量的增加而迅速增加。结果展示，使用Spark处理大于 1TB 的数据集是不切实际的。当数据集大于 2TB 时，在线采样操作开销较大。除去在线采样的成本，对于 Kmeans 算法，Sample-Spark和LOGO的运行时间相近；对于 Bisecting Kmeans 算法，LOGO比Sample-Spark更快，这是因为在相同数据量下LOGO的通信成本要低于Sample-Spark。

本文根据 Purity（越高越好）和 C-dist（越低越好）来评估聚类结果。如图 9所示，在相同的聚类算法下，由于Spark使用整个数据集进行学习，而Sample-Spark和Online-Sample-Spark使用数据集的一个样本进行学习，因此Spark的性能相对于他们更好，而LOGO与Spark的聚类结果相似。




(a) Kmeans (b) Bisecting Kmeans

图 8: 无监督学习算法的运行时间




(a) Kmeans (b) Kmeans

(c) Bisecting Kmeans (d) Bisecting Kmeans

图 9: 无监督学习算法的 Purity 和 C-dist

### *C. 频繁项集挖掘算法的性能*

图 10（a）展示了频繁项集挖掘算法在 Spark 和 LOGO 计算框架上改变交易数量时的运行时间。支持度阈值设置为 0.15。对于数据条数少于 275 万的数据集，本实验将 5000 条数据组成一个数据块。对于数据条数超过 275 万的数据集，则让一个数据块包含 100 万条数据。

当处理数据条数为 275 万条数据集时，Spark的运行时间非常高，这是因为 Spark 库 [36] 中的 FP-Growth 算法在所有分区上构建一个分布式频繁模式树并递归地提取频繁项集。这会产生大量的中间变量，需要很大的内存而且时间开销巨

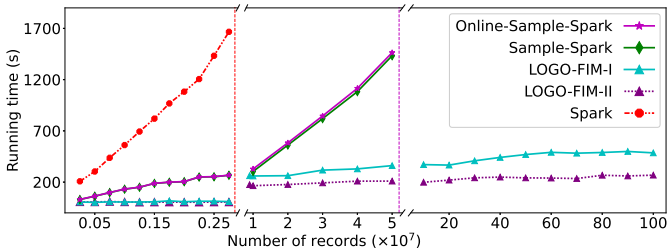
大。Online-Sample-Spark和Sample-Spark都采用了 Spark 库中的 FP-Growth 算法。和Spark的原因相类似，当处理的数据条数超过 6000 万时，他们将无法在合理的时间内做出响应。而LOGO上的算法FIM_I和FIM_II可以处理数据数量高达 10 亿条的数据集，它们的运行时间随着处理的数据数量的增加呈次线性增长。由于算法FIM_I多包含一轮通信，算法FIM_I的计算成本略高于算法FIM_II。

图 10（b）和 10（c）以Spark发现的频繁项集作为基准真值，展示了算法FIM_I和算法FIM_II在 LOGO 计算框架下的准确率和召回率。当处理的数据数量从 $10^5$ 增加到 $10^7$ 时，FIM_I的准确率和召回率在 98% 左右波动，而FIM_II的准确率低于 90%。原因是两种算法都使用样本中的频繁项集来近似真实结果。在样本中，一些不常见的项集变成了频繁项集。当数据集较小时，这种随机性会影响结果的精度。但是，当数据集较大时，这种影响可以忽略不计。如图所示，当交易数超过 $10^8$ 时，FIM_I和FIM_II的准确率和召回率接近 100%。总的来说，就结果的准确性而言，FIM_I优于FIM_II。因为FIM_I有多一轮通信来在计算节点之间共享信息。然而，在运行时间方面，FIM_II优于FIM_I。

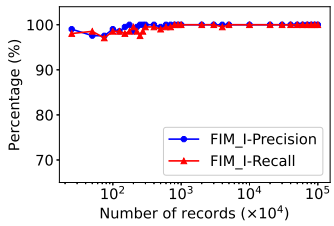
因此，对于频繁项集挖掘，LOGO在运行时间和可扩展性方面优于Spark、Online-Sample-Spark和Sample-Spark。此外，算法FIM_I和FIM_II提供的近似结果更接近于基准真值。

## V. 总结

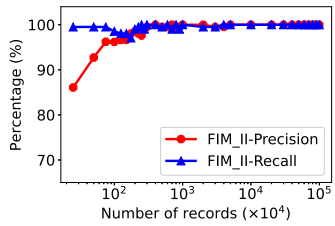
本文提出了一种用于分布式大数据分析的 Non-MapReduce 计算范式。它使用随机样本分区作为输入，而不是使用整个数据集。采用这种方法，迭代算法可以并行地、独立地对数据分区进行迭代，从而大大降低 I/O 和通信成本。输出是从数据分区获得的结果的聚合。通过扩展 Spark 实现了 Non-MapReduce 计算范式，并引入 LOGO 计算框架。它具有 I/O 和通信效率高的优势，能够在 TB 规模的数据集上执行迭代分析算法，并且具有简单的并行编程模型。将 LOGO 计算框架用于常用的有监督学习、无监督学习和频繁项集挖掘算法计算，实验结果展示了 LOGO 计算框架的有效性和高效性。




(a) 运行时间




(b) FIM-I.




(c) FIM-II.

图 10: 频繁项集挖掘

## VI. 致谢

感谢国家自然科学基金（61972261）和深圳市基础研究专项基金（JCYJ20220818100205012）对该研究的大力支持。

## Литература References 参考文献

[1] Vaia Moustaka, Athena Vakali, and Leonidas G. Anthopoulos. A systematic review for smart city data analytics. *ACM Comput. Surv.*, 51(5):103:1–103:41, 2019.

[2] Can Liu, Yuncong Gao, Li Sun, Jinghua Feng, Hao Yang, and Xiang Ao. User behavior pre-training for online fraud detection. In Aidong Zhang and Huzefa Rangwala, editors, *KDD '22: The 28th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, Washington, DC, USA, August 14 - 18, 2022*, pages 3357–3365. ACM, 2022.

[3] Noussair Fikri, Mohamed Rida, Noureddine Abghour, Khalid Moussaid, and Amina El Omri. An adaptive and real-time based architecture for financial data integration. *J. Big Data*, 6:97, 2019.

[4] Shaosheng Cao, Xinxing Yang, Cen Chen, Jun Zhou, Xiaolong Li, and Yuan Qi. Titant: Online real-time transaction fraud detection in ant financial. *Proc. VLDB Endow.*, 12(12):2082–2093, 2019.

[5] Pijush Kanti Dutta Pramanik, Saurabh Pal, and Moutan Mukhopadhyay. Healthcare big data: A comprehensive overview. *Research anthology on big data analytics, architectures, and applications*, pages 119–147, 2022.

[6] Kee Yuan Ngiam and Wei Khor. Big data and machine learning algorithms for health-care delivery. *The Lancet Oncology*, 20(5):e262–e273, 2019.

[7] Paul Suganthan G. C., Chong Sun, Krishna Gayatri K., Haojun Zhang, Frank Yang, Narasimhan Rampalli, Shishir Prasad, Esteban Arcaute, Ganesh Krishnan, Rohit Deep, Vijay Raghavendra, and AnHai Doan. Why big data industrial systems need rules and what we can do about it. In Timos K. Sellis, Susan B. Davidson, and Zachary G. Ives, editors, *Proceedings of the 2015 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Melbourne, Victoria, Australia, May 31 - June 4, 2015*, pages 265–276. ACM, 2015.

[8] Mingming Zhang, Tianyu Wo, Xuelian Lin, Tao Xie, and Yaxiao Liu. Carstream: An industrial system of big data processing for internet-of-vehicles. *Proc. VLDB Endow.*, 10(12):1766–1777, 2017.

[9] Jianyi You, Auwal Sagir Muhammad, Xin He, Tianqi Xie, Zhiyuan Wang, Xiaoliang Fan, Zhiyong Yu, Longbiao Chen, and Cheng Wang. PANDA: predicting road risks after natural disasters leveraging heterogeneous urban data. *CCF Trans. Pervasive Comput. Interact.*, 4(4):393–407, 2022.

[10] Joost Verbraeken, Matthijs Wolting, Jonathan Katzy, Jeroen Kloppenburg, Tim Verbelen, and Jan S. Rellermeyer. A survey on distributed machine learning. *ACM Comput. Surv.*, 53(2):30:1–30:33, 2021.

[11] Min Yoon, Hyeong-Il Kim, Dong Hoon Choi, Heeseung Jo, and Jae-Woo Chang. Performance analysis of mapreduce-based distributed systems for iterative data processing applications. In James J. Park, Hojjat Adeli, Namje Park, and Isaac Woungang, editors, *Mobile, Ubiquitous, and Intelligent Computing - MUSIC 2013, FTRA 4th International Conference on Mobile, Ubiquitous, and Intelligent Computing, September 4-6, 2013, Gwangju, Korea*, volume 274 of *Lecture Notes in Electrical Engineering*, pages 293–299. Springer, 2013.

[12] Martín Abadi, Ashish Agarwal, Paul Barham, Eugene Brevdo, Zhifeng Chen, Craig Citro, Gregory S. Corrado, Andy Davis, Jeffrey Dean, Matthieu Devin, Sanjay Ghemawat, Ian J. Goodfellow, Andrew Harp, Geoffrey Irving, Michael Isard, Yangqing Jia, Rafal Józefowicz, Lukasz Kaiser, Manjunath Kudlur, Josh Levenberg, Dan Mané, Rajat Monga, Sherry Moore, Derek Gordon Murray, Chris Olah, Mike Schuster, Jonathon Shlens, Benoit Steiner, Ilya Sutskever, Kunal Talwar, Paul A. Tucker, Vincent Vanhoucke, Vijay Vasudevan, Fernanda B. Viégas, Oriol Vinyals, Pete Warden, Martin Wattenberg, Martin Wicke, Yuan Yu, and Xiaoqiang Zheng. Tensorflow: Large-scale machine learning on heterogeneous distributed systems. *CoRR*, abs/1603.04467, 2016.

[13] Tianqi Chen, Mu Li, Yutian Li, Min Lin, Naiyan Wang, Minjie Wang, Tianjun Xiao, Bing Xu, Chiyuan Zhang, and Zheng Zhang. Mxnet: A flexible and efficient machine learning library for heterogeneous distributed systems. *CoRR*, abs/1512.01274, 2015.

[14] Elias De Coninck, Steven Bohez, Sam Leroux, Tim Verbelen, Bert Vankeirsbilck, Pieter Simoens, and Bart Dhoedt. DIANNE: a modular framework for designing, training and deploying deep neural networks on heterogeneous distributed infrastructure. *J. Syst. Softw.*, 141:52–65, 2018.

[15] Adam Paszke, Sam Gross, Soumith Chintala, Gregory Chanan, Edward Yang, Zachary DeVito, Zeming Lin, Alban Desmaison, Luca Antiga, and Adam Lerer. Automatic differentiation in pytorch. 2017.

[16] Raj Kumar and Rajesh Verma. Classification algorithms for data mining: A survey. *International Journal of Innovations in Engineering and Technology (IJIET)*, 1(2):7–14, 2012.

[17] Absalom E. Ezugwu, Abiodun M. Ikotun, Olaide Nathaniel Oyelade, Laith Mohammad Abualigah, Jeffrey O. Agushaka, Christopher I. Eke, and Andronicus Ayobami Akinyelu. A comprehensive survey of clustering algorithms: State-of-the-art machine learning applications, taxonomy, challenges, and future research prospects. *Eng. Appl. Artif. Intell.*, 110:104743, 2022.

[18] Chin-Hoong Chee, Jafreezal Jaafar, Izzatdin Abdul Aziz, Mohd Hilmi Hasan, and William Yeoh. Algorithms for frequent itemset mining: a literature review. *Artif. Intell. Rev.*, 52(4):2603–2621, 2019.

[19] Salman Salloum, Joshua Zhexue Huang, and Yulin He. Random sample partition: A distributed data model for big data analysis. *IEEE Trans. Ind. Informatics*, 15(11):5846–5854, 2019.

[20] Konstantin Shvachko, Hairong Kuang, Sanjay Radia, and Robert Chansler. The hadoop distributed file system. In Mohammed G. Khatib, Xubin He, and Michael Factor, editors, *IEEE 26th Symposium on Mass Storage Systems and Technologies, MSST 2012, Lake Tahoe, Nevada, USA, May 3-7, 2010*, pages 1–10. IEEE Computer Society, 2010.

[21] Chenghao Wei, Salman Salloum, Tamer Z. Emara, Xiaoliang Zhang, Joshua Zhexue Huang, and Yu-Lin He. A two-stage data processing algorithm to generate random sample partitions for big data analysis. In *CLOUD*, volume 10967, pages 347–364, 2018.

[22] Robi Polikar. Ensemble learning. In *Ensemble machine learning*, pages 1–34. Springer, 2012.

[23] Zhice Fang, Yi Wang, Ling Peng, and Haoyuan Hong. A comparative study of heterogeneous ensemble-learning techniques for landslide susceptibility mapping. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 35(2):321–347, 2021.

[24] Antonio Galicia, Ricardo L. Talavera-Llames, Alicia Troncoso Lora, Irena Koprinska, and Francisco Martínez-Álvarez. Multi-step forecasting for big data time series based on ensemble learning. *Knowl. Based Syst.*, 163:830–841, 2019.

[25] Eric Bauer and Ron Kohavi. An empirical comparison of voting classification algorithms: Bagging, boosting, and variants. *Mach. Learn.*, 36(1-2):105–139, 1999.

[26] Yuyan Wang, Dujuan Wang, Na Geng, Yanzhang Wang, Yunqiang Yin, and Yaochu Jin. Stacking-based ensemble learning of decision trees for interpretable prostate cancer detection. *Appl. Soft Comput.*, 77:188–204, 2019.

[27] Shadi Khalifa, Patrick Martin, and Rebecca Young. Label-aware distributed ensemble learning: A simplified distributed classifier training model for big data. *Big Data Res.*, 15:1–11, 2019.

[28] Deepak Gupta and Rinkle Rani. Improving malware detection using big data and ensemble learning. *Comput. Electr. Eng.*, 86:106729, 2020.

[29] Yue-Shan Chang, Satheesh Abimannan, Hsin-Ta Chiao, Chi-Yeh Lin, and Yo-Ping Huang. An ensemble learning based hybrid model and framework for air pollution forecasting. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(30):38155–38168, 2020.

[30] Sang Gyu Kwak and Jong Hae Kim. Central limit theorem: the cornerstone of modern statistics. *Korean journal of anesthesiology*, 70(2):144–156, 2017.

[31] Karima Sid and Mohamed Batouche. Ensemble learning for large scale virtual screening on apache spark. In Abdelmalek Amine, Malek Mouhoub, Otmane Aït Mohamed, and Bachir Djebbar, editors, *Computational Intelligence and Its Applications - 6th IFIP TC 5 International Conference, CIIA 2018, Oran, Algeria, May 8-10, 2018, Proceedings*, volume 522 of *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, pages 244–256. Springer, 2018.

[32] Jiawei Han, Jian Pei, Yiwen Yin, and Runying Mao. Mining frequent patterns without candidate generation: A frequent-pattern tree approach. *Data Min. Knowl. Discov.*, 8(1):53–87, 2004.

[33] Timur Valiullin, Zhexue Huang, Chenghao Wei, Jianfei Yin, Dingming Wu, and Iuliia Egorova. A new approximate method for mining frequent itemsets from big data. *Comput. Sci. Inf. Syst.*, 18(3):641–656, 2021.

[34] Bahzad Charbuty and Adnan Abdulazeez. Classification based on decision tree algorithm for machine learning. *Journal of Applied Science and Technology Trends*, 2(01):20–28, 2021.

[35] Leo Breiman. Random forests. *Mach. Learn.*, 45(1):5–32, 2001.

[36] Haoyuan Li, Yi Wang, Dong Zhang, Ming Zhang, and Edward Y. Chang. Pfp: parallel fp-growth for query recommendation. In Pearl Pu, Derek G. Bridge, Bamshad Mobasher, and Francesco Ricci, editors, *Proceedings of the 2008 ACM Conference on Recommender Systems, RecSys 2008, Lausanne, Switzerland, October 23-25, 2008*, pages 107–114. ACM, 2008.

DOI 10.18699/sblai2023-47

# *On the Notion of Constructive Sets and Function Spaces in the Framework of Markov's Mathematico-Logic*

## *О понятии конструктивных множеств и функциональных пространств в рамках математико-логики Маркова*

## *論馬可夫數理邏輯架構中的建構集合與函數空間的概念*

Krishnan V.
*Department of Mathematics, Jamal Mohamed College, Tiruchirappalli*
*vkmaths@jmc.edu*

Rajan E.G.
*Professor of Signal Processing, Chairman, Pentagram Group of Companies*
*dr.rajaneg@gmail.com*

The concept of a set is not unique in constructive mathematics, for, it depends on the language $Я_{\alpha}$, $0 \leq \alpha \leq \omega|$, chosen to interpret the concept and hence it varies from case to case. In loose terms, a constructive set consists only of constructive objects. A mathematical object of analysis is known as a constructive object when it is represented as a word from some alphabet. The terms set and property are considered here to be synonymous. A constructive object is said to be a member of a set if it exhibits the corresponding property.

Let $X_0$ denote a collection of some words from an alphabet A. Let $P_0$ be some property satisfied by the elements of $X_0$. Then the property $P_0$ is said to be potentially enumerable on $X_0$ if one could specify another property $P_1$ which holds for those and only those elements of $X_0$. Given an alphabet A, if a variable s ranges over the entire free monoid A* then s is known as a base variable. On the other hand, restricted variables are defined as those variables whose admissible values (words) are from a finite collection of words from A. Now let us consider a one-parameter formula $\phi_{\alpha}$ whose parameter is an individual base variable. Here, $\phi_{\alpha}$ is simply written as $\phi$. $\phi$ is called an algorithmically verifiable condition (recursive condition), if one can construct some normal algorithm which would verify the fulfillment of the condition imposed by $\phi$. Let $\phi$ be a formula of the language $Я_{\omega|}$ of the type $\forall x B(x)$ where B(x) is a normal formula and *x* is a restricted variable whose admissible values are from some finite collection, say, X of words from a specific alphabet A. Then one can construct a normal algorithm $N^{\in}$ which transforms every word chosen by x from X into O if B(x) holds or into O| if B(x) does not hold. Then X is said to be decided by the algorithm $N^{\in}$. In other words, given an alphabet A and a property P, one can construct a normal algorithm $N^{\in}$ over A which would decide the set X of those constructive objects from A satisfying the property P. Let us denote for convenience,

this normal algorithm by $N_X^{\in}$ is viewed as the preset deciding process. A preset might contain more than one identical constructive objects which satisfy the stipulated property whereas such a repetition is not allowed in the notion of a set. In order to overcome this difficulty, one can construct a normal algorithm $N_X \dot{=}$ which would regulate a preset X to contain only unique and nonrepetitive constructive objects, by operating on every pair of elements of X, say, y and z represented as y*z in the following manner: if y $\dot{=}$ z, then $N_X \dot{=}$ (y * z) = y and If y $\dot{\neq}$ z, then $N_X \dot{=}$ is not sa-definite for y*z and the pair <y, z> remains unaltered. A normal algorithm $N_X \dot{=}$ is defined as a regular of uniqueness in itself of a preset deciding process $N_X^{\in}$ if for every y and z from X the following holds: $\forall yz\&\supset$(y $\dot{=}$ z) $N_X \dot{=} \lfloor$ y * z$\rfloor \dot{=}$ y$\supset$(y $\dot{\neq}$ z) $\neg!$ $N_X \dot{=} \lfloor$ y * z$\rfloor$. Based on certain ideas discussed earlier, we provide below a technique using which one can construct a normal algorithm of the type $N_X \dot{=}$ .

By a constructive set we mean the canonically represented verboid of the form $\{N_X^{\varepsilon}\}$ □ { $N_X \dot{=}$ } from the alphabet $A_{15}$={o | }, { □ } where, $\{N_X^{\in}\}$ decides the preset by identifying the verboidal transcriptions of those constructive objects which satisfy the property P stipulated by a one-parameter formula B(x) and { $N_X \dot{=}$ } is the corresponding regulator of uniqueness in itself of $\{N_X^{\varepsilon}\}$. Without loss of generality, we can interpret a set process $\{N_X^{\varepsilon}\}$ □ { $N_X \dot{=}$ } as $\{\Re_X^{\in}\}$ □ { $\Re_X \dot{=}$ } so as to generalize the notion of a constructive set as the one which is decided by a part of constructive system $\Re_X^{\in}$ and $\Re_X \dot{=}$ . The successful termination of the set process $\{\Re_X^{\in}\}$ □ $\Re_X \dot{=}$ } yields the desired set X which is the string of the form {X†,} where the term X†, is the ,-dilution of all the unique objects decided by the process. Let P be a potentially enumerable property (PEP) of a set X constructed by $\{\Re_X^{\in}\}$ □ { $\Re_X \dot{=}$ }. Then X is said to be finite if the set process $\{\Re_X^{\in}\}$ □ { $\Re_X \dot{=}$ } terminates. On the other hand, X is said to be nonfinite if the set process is proved to be nonterminating. X is said to be quasifinite, if one fails to prove that the set process does not terminate. By the complement of a set X words from an alphabet A with respect to the entire set of all words from A, we mean the set $\bar{X}$ of words from A defined by the condition P$\in \bar{X} \equiv \neg$(P$\in$X) such that P does not satisfy the corresponding PEP of the set X.

One can define various notions pertaining to sets and function spaces using the notion of constructive set described in this paper.

Понятие множества не уникально в конструктивной математике, поскольку оно зависит от языка $Я_\alpha$, $0 \le \alpha \le \omega|$, выбранного для интерпретации этого понятия, и, следовательно, варьируется от случая к случаю. Грубо говоря,

конструктивное множество состоит только из конструктивных объектов. Математический объект анализа называется конструктивным, если он представлен в виде слова из некоторого алфавита. Термины множество и свойство рассматриваются здесь как синонимы. Конструктивный объект называется членом множества, если он обладает соответствующим свойством.

Пусть $X_0$ обозначает набор некоторых слов из алфавита A. Пусть $P_0$ — некоторое свойство, которому удовлетворяют элементы $X_0$. Тогда свойство $P_0$ называется потенциально перечислимым на $X_0$, если можно указать другое свойство $P_1$, которое справедливо для тех и только этих элементов $X_0$. Учитывая алфавит A, если переменная s охватывает весь свободный моноид A*, то s называется базовой переменной. С другой стороны, ограниченные переменные определяются как те переменные, допустимые значения (слова) которых взяты из конечного набора слов из A. Теперь рассмотрим однопараметрическую формулу $\phi\alpha$, параметром которой является отдельная базовая переменная. Здесь $\phi\alpha$ просто пишется как $\phi$. $\phi$ называется алгоритмически проверяемым условием (рекурсивным условием), если можно построить некоторый нормальный алгоритм, проверяющий выполнение условия, налагаемого $\phi$. Пусть $\phi$ – формула языка $Я_{\omega|}$ типа $\forall xB(x)$, где B(x) — нормальная формула, а x — ограниченная переменная, допустимые значения которой взяты из некоторого конечного набора, скажем, X слов из определенного алфавита A. Тогда можно построить нормальный алгоритм $N^{\in}$, который преобразует каждое слово, выбранное x, из X в O, если B(x) выполнено, или в O| если B(x) не выполняется. Тогда говорят, что X определяется алгоритмом $N^{\in}$. Другими словами, учитывая алфавит A и свойство P, можно построить нормальный алгоритм $N^{\in}$ над A, который будет определять множество X тех конструктивных объектов из A, которые удовлетворяют свойству P. Обозначим для удобства этот нормальный алгоритм через $N^{X\in}$ рассматривается как предустановленный процесс принятия решения. Набор может содержать более одного одинаковых конструктивных объектов, удовлетворяющих оговоренному свойству, тогда как в понятии набора такое повторение не допускается. Чтобы преодолеть эту трудность, можно построить нормальный алгоритм $N_X\dot{=}$, который бы регулировал предустановку X так, чтобы она содержала только уникальные и неповторяющиеся конструктивные объекты, оперируя каждой парой элементов X, скажем, y и z, представленных как y*z в следующим образом: если $y \dot{=} z$, то $N_X\dot{=}(y * z) = y$ и если $y \dot{\neq} z$, то $N_X\dot{=}$ не является sa-определенным для y*z и пара <y, z> остается неизменной. Нормальный алгоритм $N_X\dot{=}$ определяется как регулярный показатель уникальности заранее заданного решающего процесса $N^{X\in}$, если для любых y и z из X выполняется следующее: $\forall yz\&\supset(y \dot{=} z)\ N_X\dot{=} \lfloor y * z\rfloor \dot{=} y \supset(y \dot{\neq} z)\ \neg! \dot{\neq} \lfloor y * z\rfloor$. Основываясь на некоторых идеях,

обсуждавшихся ранее, ниже мы предлагаем технику, с помощью которой можно построить нормальный алгоритм типа $N_X \doteq$ .

Под конструктивным множеством будем понимать канонически представленный вербоид вида {N$_X$∈} □ { $N_X \doteq$ } из алфавита A15={o | }, { □ }, где {N$_X$∈} определяет предустановку путем идентификации вербоидных транскрипций тех конструктивных объектов, которые удовлетворяют свойству P, обусловленному однопараметрической формулой B(x), а { $N_X \doteq$ } является соответствующим регулятором уникальности в сам {N$_X$∈}. Без потери общности мы можем интерпретировать процесс набора {N$_X$∈} □ { $N_X \doteq$ } как {$\mathfrak{R}_X$∈} □ $\mathfrak{R}_X \doteq$ , чтобы обобщить понятие конструктивного множества как набора, который определяется частью конструктивной системы. $\mathfrak{R}_X$∈ и $\mathfrak{R}_X \doteq$ . Успешное завершение процесса набора {$\mathfrak{R}_X$∈} □ { $\mathfrak{R}_X \doteq$ } дает желаемый набор X, который представляет собой строку вида {X†,}, где термин X† представляет собой ,-разбавление всех уникальные объекты, определенные в процессе. Пусть P — потенциально перечислимое свойство (PEP) множества X, построенное по {$\mathfrak{R}_X$∈} □ { $\mathfrak{R}_X \doteq$ }. Тогда X называется конечным, если процесс множества {$\mathfrak{R}_X$∈} □ { $\mathfrak{R}_X \doteq$ } завершается. С другой стороны, X называется бесконечным, если доказано, что процесс множества не завершается. X называется квазиконечным, если не удается доказать, что заданный процесс не завершается. Под дополнением множества X слов из алфавита A по отношению ко всему множеству всех слов из A будем понимать множество $\bar{X}$ слов из A, определенное условием P∈ $\bar{X}$ ≡¬(P∈X) такое, что P не удовлетворяет соответствующему PEP множества X.

Можно определить различные понятия, относящиеся к множествам и функциональным пространствам, используя понятие конструктивного множества, описанное в этой статье.

集合的概念在構造性數學中並不是唯一的，因為它取決於用來解釋該概念的語言 Я$_\alpha$, 0≤α ≤ ω|，因此它會因情況而異。 寬鬆地說，構造性集合僅由構造性物件組成。 當數學分析物件被表示為某個字母表中的單字時，它被稱為構造性物件。 術語集和屬性在這裡被認為是同義的。 如果構造物件表現出對應的屬性，則稱該物件是集合的成員。

令 $X_0$ 表示字母表 A 中一些單字的集合。令 $P_0$ 是 $X_0$ 的元素滿足的某個屬性。 那麼，如果可以指定另一個屬性 $P_1$，該屬性適用於且僅適用於 $X_0$ 的那些元素，則屬性 $P_0$ 被認為是 $X_0$ 上潛在可枚舉的。 給定字母表 A，如果變數 s 的範圍涵蓋整個自由么半群 A*，則 s 稱為基底變數。 另一方面，受限變數被定義為那些其允許值（單字）來自 A 的有限單字集合的變數。現在讓

我們考慮一個單參數公式 $\phi_\alpha$，其參數是單一基底變數。 這裡，$\phi_\alpha$簡稱為$\phi$。如果可以建構某種正常演算法來驗證 f 所施加的條件是否滿足，則 f 稱為演算法上可驗證的條件（遞歸條件）。 設 f 為語言 $Я_{\omega|}$ 的公式 類型為 ∀xB(x)，其中 B(x) 是正規公式，x 是受限變量，其允許值來自某個有限集合，例如來自特定字母表 A 的單字 X。然後可以構造正規演算法 N∈ 如果 B(x) 成立，則將 x 從 X 選擇的每個單字轉換為 O| 或轉換為 O| 如果 B(x) 不成立。那麼 X 據說是由演算法 N∈ 決定的。 換句話說，給定一個字母表 A 和一個屬性 P，我們可以在 A 上建立一個正規演算法 N∈，它將從 A 中決定那些滿足屬性 P 的建構物件的集合 X。為了方便起見，我們將這個正規演算法表示為 NX∈ 被視為預設的決策過程。 預設可能包含多個滿足規定屬性的相同構造對象，而集合概念中不允許這種重複。 為了克服這個困難，我們可以建立一個正常的演算法 $N_X\dot{=}$ ，透過對 X 的每一對元素（例如表示為 y*z 的 y 和 z）進行操作，將預設的 X 調整為僅包含唯一且非重複的構造物件。如下方式：如果 y $\dot{=}$ z，則 $N_X\dot{=}$ (y = z) = y 並且如果 y $\dot{\neq}$ z，則 $N_X\dot{=}$ 對於 y*z 不是 sa 定的，並且 〈y, z〉 對保持不變。 正常演算法 $N_X\dot{=}$ 定義為預設決策過程 NX∈ 本身唯一性的正則，如果對於 X 中的每個 y 和 z 滿足以下條件：∀yz&⊃(y $\dot{=}$ z) $N_X\dot{=}$ ⌊y * z⌋ $\dot{=}$ y⊃( y $\dot{\neq}$ z) Ø! $N_X\dot{=}$ ⌊y * z⌋。 基於前面討論的某些想法，我們在下面提供了一種技術，使用該技術可以建立 $N_X\dot{=}$ 類型的正常演算法。我們所說的構造集合是指來自字母表 $A_{15}$={o | } 的形式為 {$N_X$∈} □ { $N_X\dot{=}$ } 的規範所表示的動詞。$A_{15}$={o | }, { □ } 其中，{$N_X$∈} 透過辨識那些符合單參數公式 B(x) 規定的屬性 P 的建構物的動詞轉錄來決定預設，而 { $N_X\dot{=}$ } 是唯一對應的性調節器{$N_X$ε} 本身。 不失一般性，我們可以將集合過程{$N_X$∈} □ { $N_X\dot{=}$ } 解釋為 {$\mathfrak{R}_X^{\in}$} □ { $\mathfrak{R}_X\dot{=}$ } ，從而將構造性集合的概念推廣為由構造性系統的一部分決定的集合過程ℜX ∈ 和 $\mathfrak{R}_X\dot{=}$ 。集合過程{$\mathfrak{R}_X^{\in}$} □ $\mathfrak{R}_X\dot{=}$ } 的成功終止產生所需的集合 X，它是形式為{X†,} 的字串，其中項 X†, 是所有由過程決定的獨特物件。令 P 為由 {$\mathfrak{R}_X^{\in}$} □ { $\mathfrak{R}_X\dot{=}$ }. 所建構的集合 X 的潛在可列舉屬性 (PEP)。 若集合程序{$\mathfrak{R}_X^{\in}$}022 □ { $\mathfrak{R}_X\dot{=}$ }終止，則稱 X 為有限的。 另一方面，如果證明集合過程是非終止的，則稱 X 是非有限的。 如果無法證明集合過程不會終止，則稱 X 是擬有限的。 透過字母 A 中的一組 X 個單字相對於 A 中所有單字的整個集合的補集，我們指的是由條件 P∈ $\bar{X}$ ≡ ¬(P∈X) 定義的 A 中單字的集合 $\bar{X}$ ，使得 P 不滿足集合 X 的相應 PEP。

人們可以使用本文所描述的構造性集合的概念來定義與集合和函數空間相關的各種概念。

DOI 10.18699/sblai2023-35

# *A Comparative Analysis of CNN-based Deep Learning Models for Semantic Segmentation of PolSAR data*

## *Сравнительный анализ моделей глубокого обучения на основе CNN для семантической сегментации данных PolSAR*

## *基於 CNN 的 PolSAR 資料語意分割深度學習模型的比較分析*

Anil Kumar[1], Rajat Garg[2], Manish Prateek[3], Shashi Kumar[4]

[1]*School of Computer Science, University of Petroleum and Energy Studies, Dehradun*
[2]*Department of Computer Science and Engineering, IILM University, Greater Noida G.D.*
[3]*Goenka University, Panipat, India*
[4]*Indian Institute of Remote Sensing, ISRO, Dehradun*

The advent of Deep Learning models for computer vision problems has opened the floodgates of opportunities. The same deep learning models have been highly effective in solving many challenges in the field of remote sensing and geoinformatics[1]. Earth's ecology is undergoing tremendous changes every day and this mandates the continuous monitoring of the Earth's ecosystem. It is an important task since it allows the government and other responsible bodies to take a planned set of actions that allow them to overcome the challenges being faced due to climate change and the natural hazards arising out of it. Remote sensing data is highly effective in monitoring the Earth's ecology by providing accurate Land Use Land Cover maps through high-resolution data. One of the major challenges faced by the remote sensing research community is the unavailability of open-source high-resolution PolSAR data with ground truth. This work aims at comparing the semantic segmentation results of multiple deep learning models. The results are also compared by varying the backbone network used in the different deep learning models to get a clear understanding of which combination works the best and why. Similar work by Yuan et. al. [2] shows that the DenseNet169 performs the best. The initial comparative results between FPN[3], UNET[4], and DeeplabV3+[5] on the L band Uninhabited Ariel Vehicle Synthetic Aperture Radar (UAVSAR) dataset of the Houston region in the USA show that the DeeplabV3+ outperforms the FPN and UNET models with Xception as a backbone. However, it is noteworthy that different models are sensitive to different classes in the PolSAR imagery.

As it can be observed from figure 1, the regions enclosed by black boxes A and B highlight that the DeeplabV3+ (figure 1e) correctly distinguishes the field from the forest while both FPN (figure 1c) and UNET (figure 1d) wrongly identify the field as forest region.

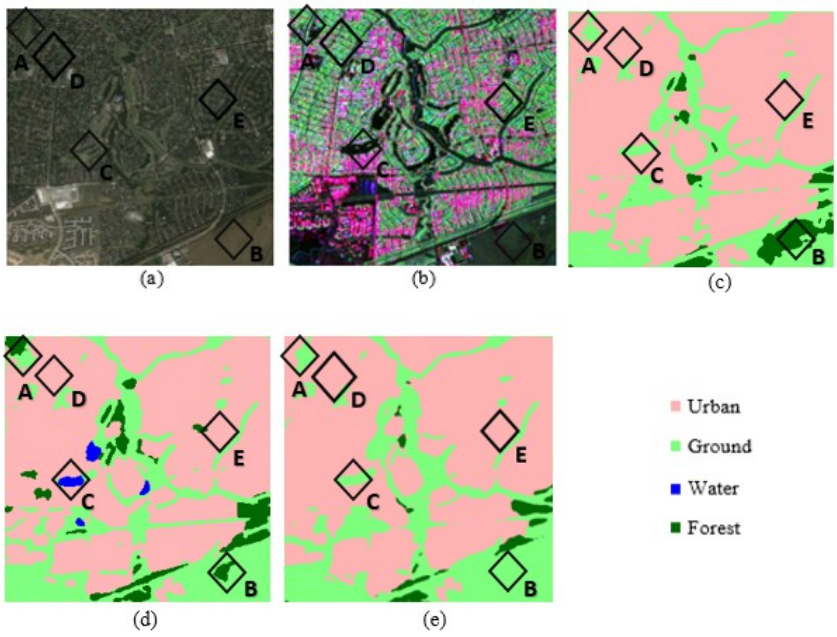



*Fig. 1 (a) Google Earth image of test patch for Ground Truth (b) False color composite of UAVSAR image of a part of Houston City, Texas (USA) and the corresponding image segmentation results for (c) FPN, (d) UNET, and (e) DeepLabv3+ respectively.*

*Рис. 1 (а) Изображение Google Earth тестового участка для Ground Truth (б) Композиция в искусственных цветах изображения БПЛА части Хьюстон-Сити, штат Техас (США) и соответствующие результаты сегментации изображения для (в) FPN, (г) UNET и (е) DeepLabv3+ соответственно.*

*圖 1 (a) Ground Truth 測試補丁的 Google Earth 影像 (b) 美國德州休士頓市部分 UAVSAR 影像的偽彩色合成以及 (c) FPN 的相應影像分割結果，(d)分別為 UNET 和( e) DeepLabv3+。*

However, in the case of the water class, UNET has correctly identified the water as bounded by the black box C whereas FPN and DeeplabV3+ failed to identify the same. It is also to be observed that all the models have correctly classified the oriented urban targets bounded by boxes D and E, which appear in green color in the decomposed false-color composite image due to the diffused type of scattering coming from the oriented urban targets as observed in figure 1b. The overall accuracy of FPN, UNET, and DeeplabV3+ is 84.62%, 86.52%, and 87.78% respectively. This accuracy can be further enhanced by varying the backbone network and also by training the models from scratch instead of relying on the transfer learning method. The only problem with training a model from scratch is that too large a dataset is required and the creation of a dataset is a very time-consuming and laborious task that requires domain experts. Generally, the improvement in the accuracy achieved by deploying extra computational power is not worth the time and resources consumed and it is better to go with the transfer learning approach.

Появление моделей глубокого обучения для решения задач компьютерного зрения открыло шлюзы возможностей. Одни и те же модели глубокого обучения оказались весьма эффективными при решении многих задач в области дистанционного зондирования и геоинформатики [1]. Экология Земли претерпевает огромные изменения каждый день, и это требует постоянного мониторинга экосистемы Земли. Это важная задача, поскольку она позволяет правительству и другим ответственным органам предпринять запланированный набор действий, которые позволят им преодолеть проблемы, с которыми сталкиваются из-за изменения климата и связанных с ним стихийных бедствий. Данные дистанционного зондирования очень эффективны для мониторинга экологии Земли, поскольку предоставляют точные карты землепользования и растительного покрова на основе данных высокого разрешения. Одной из основных проблем, с которыми сталкивается исследовательское сообщество в области дистанционного зондирования, является недоступность открытых данных PolSAR с высоким разрешением и достоверной информацией. Целью этой работы является сравнение результатов семантической сегментации нескольких моделей глубокого обучения. Результаты также сравниваются путем изменения магистральной сети, используемой в различных моделях глубокого обучения, чтобы получить четкое представление о том, какая комбинация работает лучше всего и почему. Аналогичная работа Yuan et. ал. [2] показывает, что DenseNet169 работает лучше всего. Первоначальные сравнительные результаты между FPN[3], UNET[4] и DeeplabV3+[5] в наборе данных необитаемого радара Ariel с синтезированной апертурой (UAVSAR) L-диапазона в регионе Хьюстон в США показывают, что DeeplabV3+ превосходит FPN и UNET. модели с Xception в качестве основы. Однако примечательно, что разные модели чувствительны к разным классам изображений PolSAR.

Как видно из рисунка 1, области, заключенные в черные прямоугольники A и B, подчеркивают, что DeeplabV3+ (рисунок 1e) правильно отличает поле от леса, в то время как FPN (рисунок 1c) и UNET (рисунок 1d) ошибочно идентифицируют поле. как лесной регион. Однако в случае с классом воды UNET правильно определил, что вода ограничена черным ящиком C, тогда как FPN и DeeplabV3+ не смогли это идентифицировать. Также следует отметить, что все модели правильно классифицировали ориентированные городские цели, ограниченные прямоугольниками D и E, которые отображаются зеленым цветом на разложенном составном изображении в искусственных цветах из-за диффузного типа рассеяния, исходящего от ориентированных городских целей. как показано на рисунке 1b. Общая точность FPN, UNET и DeeplabV3+ составляет 84,62%, 86,52% и 87,78% соответственно. Эту точность можно еще больше повысить, изменив магистральную сеть, а также обучив модели с нуля

вместо того, чтобы полагаться на метод трансферного обучения. Единственная проблема с обучением модели с нуля заключается в том, что требуется слишком большой набор данных, а создание набора данных — очень трудоемкая и трудоемкая задача, требующая экспертов в предметной области. Как правило, повышение точности, достигаемое за счет использования дополнительных вычислительных мощностей, не стоит затраченных времени и ресурсов, и лучше использовать подход трансферного обучения.

針對電腦視覺問題的深度學習模型的出現開啟了機會之門。 同樣的深度學習模式在解決遙感和地理資訊學領域的許多挑戰方面非常有效[1]。 地球的生態每天都在發生巨大的變化，這要求對地球生態系統進行持續監測。 這是一項重要的任務，因為它使政府和其他負責機構能夠採取一系列有計劃的行動使他們能夠克服氣候變遷及其引起的自然災害所面臨的挑戰。 遙感資料透過高解析度資料提供準確的土地利用土地覆蓋圖，在監測地球生態方面非常有效 遙感研究界面臨的主要挑戰之一是無法取得具有地面實況的開源高解析度 PolSAR 資料。 這項工作旨在比較多個深度學習模型的語義分割結果。 也透過改變不同深度學習模型中使用的主幹網路來比較結果，以便清楚了解哪種組合效果最好以及原因。 袁等人的類似工作。 等人。 [2]顯示 DenseNet169 表現最佳。 FPN[3]、UNET[4]、DeeplabV3+[5]在美國休士頓地區 L 波段無人機合成孔徑雷達（UAVSAR）資料集上的初步對比結果表明，DeeplabV3+優於 FPN 和 UNET 以 Xception 作為骨幹的模型。 然而，值得注意的是，不同的模型對 PolSAR 影像中的不同類別敏感。

從圖 1 可以看出，黑框 A 和 B 包圍的區域突出表明 DeeplabV3+（圖 1e）正確區分了田野和森林，而 FPN（圖 1c）和 UNET（圖 1d）都錯誤地識別了田野作為林區。 然而，就水類而言，UNET 已正確識別出以黑盒 C 為界的水，而 FPN 和 DeeplabV3+ 未能識別出相同的水。 還可以觀察到，所有模型都正確分類了由框 D 和 E 包圍的定向城市目標，由於來自定向城市目標的散射類型，這些目標在分解的假色合成圖像中顯示為綠色如圖 1b 所示。 FPN、UNET 和 DeeplabV3+的整體準確率分別為 84.62%、86.52%和 87.78%。 透過改變主幹網路以及從頭開始訓練模型而不是依賴遷移學習方法，可以進一步提高這種準確性。 從頭開始訓練模型的唯一問題是需要太大的資料集，而資料集的建立是一項非常耗時費力的任務，需要領域專家。 一般來說，透過部署額外的運算能力來提高準確性並不值得消耗時間和資源，最好採用遷移學習方法。

***Литература*** ***References*** ***參考書目***

1. Xin Zhang et. al., “How well do deep learning based methods for land cover

classification and object detection perform on high resolution remote sensing imagery?," Remote Sensing, vol. 12(3), 2020, https://doi.org/10.3390/rs12030417

2. J. Yuan, L. Ru, S. Wang and C. Wu, "WH-MAVS: A Novel Dataset and Deep Learning Benchmark for Multiple Land Use and Land Cover Applications," in IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 15, pp. 1575-1590, 2022, https://doi.org/10.1109/JSTARS.2022.3142898

3. Tsung-Yi Lin et. al., "Feature Pyramid Networks for Object Dection", CVPR, 17 April 2017, https://doi.org/10.48550/arXiv.1612.03144

4. Olaf Ronneberger et. al., "U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation, CVPR, 18 May 2015, https://doi.org/10.48550/arXiv.1505.04597

5. L. C. Chen et. al., "Encoder-Decoder with Atrous Separable Convolution for Semantic Image Segmentation", CVPR, 22 Aug 2018, https://doi.org/10.48550/arXiv.1802.02611

DOI 10.18699/sblai2023-48
УДК 004.8, 51-78

# *Возможность алгебраических операций над музыкальным текстом: ритм, интонация, тембр*

# *The possibility of algebraic operations on a musical text: rhythm, intonation, timbre*

# *音樂文本代數運算的可能性：節奏、語調、音色*

Амосов Г.Г.
*доктор физико-математических наук, профессор,*
*ведущий научный сотрудник Математического института им. В.А. Стеклова РАН*
*Москва, Россия*
*Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,*
*Leading Scientific Researcher, Steklov Mathematical Institute of RAS*
*Moscow, Russia*
*物理與數學科學博士、教授、*
*俄羅斯科學院斯特克洛夫數學研究所首席研究員*
*俄羅斯莫斯科*
*gramos@mi-ras.ru*

Комиссаренко А.В.
*доцент кафедры композиции Научно-композиторского факультета*
*Московской государственной консерватории им. П.И. Чайковского*
*Москва, Россия*
*Associate Professor of Composition Department, Faculty of Science and Composition,*
*Moscow Tchaikovskii Conservatory*
*Moscow, Russia*
*科學與作曲學院作曲系副教授，莫斯科柴可夫斯基音樂學院*
*俄羅斯莫斯科*
*anjelikamiss@mail.ru*

***Аннотация.*** Запись музыки в виде некоторого текста превращает музыкальный материал в структурированное множество, над которым возможно выполнять определенные математические операции. В зависимости от того, какие именно структурные части мы выделяем, можно говорить о записи ритма, звуковысотности, тембра. Данное выделение и обеспечивает качество математических операций, среди которых могут быть такие как сложение и умножение, по отношению к тексту. Мы анализируем алгебраические операции, встречающиеся в практике современных композиторов. В качестве примеров будут приведены сочинения Т. Мюрая и Н. Хруста, а также теория ритмов А. Грамши. Используется объектно-ориентированный язык программирования OpenMusic.

***Ключевые слова:*** запись музыки, алгебраические операции над музыкальным текстом, объектно-ориентированный язык OpenMusic.

***Annotation.*** Recording music in the form of some text turns the musical material into a structured set over which it is possible to perform certain mathematical operations. Depending on which structural parts we select, we can talk about recording rhythm, pitch, timbre. This selection ensures the quality of mathematical operations, among which may be such as addition and multiplication, in relation to the text. We analyze algebraic operations encountered in the practice of modern composers. The works of T. Murail and N. Khrust, as well as the theory of rhythms by A. Gramsci will be given as examples. The object-oriented programming language OpenMusic is used.

***Keywords:*** music recording, algebraic operations on a musical text, object-oriented language OpenMusic.

***註解。*** 以某種文字形式錄製音樂會將音樂材料轉變為結構化的集合，可以在其上執行某些數學運算。 根據我們選擇的結構部分，我們可以談論錄製節奏、音調、音色。 這種選擇確保了數學運算的質量，其中可能包括與文字相關的加法和乘法。 我們分析現代作曲家實踐中所遇到的代數運算。 T. Murail 和 N. Khrust 的作品以及 A. Gramsci 的節奏理論將作為例子。 使用物件導向的程式語言 OpenMusic。

***關鍵字***：音樂錄音、音樂文本的代數運算、物件導向語言 OpenMusic。

## *1. Введение*

Проблема хранения и обработки информации, представляющей из себя некоторый набор интеллектуального знания, особенно остро проявляет себя в разных областях науки, техники и искусства в последние годы в связи с появлением больших массивов данных и появлением таких новых методов обработки как квантовые [1]. В 2019 году была принята национальная стратегия развития искусственного интеллекта [2], что предполагает проникновение новых методов во все области знания.

Музыка (как явление искусства) обладает целым рядом параметров, включая звуковысотность, ритм и тембр. Конечно, все эти параметры имеют как физическую так и психоакустическую составляющие [3]. Для более скрупулезных сведений о принципах создания современной музыки, использующих электронные устройства, мы рекомендуем ознакомиться с учебником [4]. При традиционной нотации наибольшее значение играет запись звуковысотности, а проблема указания тембра вообще сводится к названию инструмента, на котором должно быть осуществлено исполнение. Что же касается ритма, то о нём делаются самые общие указания с надеждой на интерпретацию профессиональными музыкантами. Часто такой подход не годится для записи современных сочинений, в которых ритм и тембр играют ничуть не меньшую роль, чем интонационные мотивы.

Проявление тембрального тематизма в музыке Д.Д. Шостаковича было отмечено ещё в [5]. Далеко идущее развитие таких идей привело к возникновению работы [6], где было указано на связь между переходом от интонационного тематизма к тембральному и появлением в XX веке квантовых методов обработки информации. Использование электронных инструментов для

создания звука определенного тембра имеет богатую историю. Россия тут стоит на самых впечатляющих позициях [7]. Следует заметить, что попытки исполнения музыкальных композиций на компьютере, оказывается требуют серьезных дополнений к существующим формальным алгоритмам, что ярко продемонстрировал прославленный патриарх исследований в области компьютерной музыки Max Mathews [8].

Для решения создавшейся проблемы можно использовать как новые способы нотной записи, так и старые, придавая им некоторый новый смысл. В своих исследованиях мы опираемся на объектно-ориентированный язык программирования OpenMusic, созданный в парижском IRCAM [9]. Данный язык программирования, написанный на традиционном языке Lisp, позволяет визуализировать информацию, содержащуюся в строках с помощью удобных “иконок”, часто имеющих вид традиционной музыкальной нотации, но с несколько другим смыслом, позволяющим четко задавать не только звуковысотность, но и структуру ритма и тембра.

Мы показываем возможности такого подхода для реализации трех совершенно различных видов музыки. Это, так называемая, спектральная музыка T. Murail, теории ритмов Антонио Грамши, а также одного сочинения Н. Хруста, построенного сходно с теорией А. Грамши, но только с заменой интерпретации параметров, задающих ритм, на параметры звуковысотности. Во всех трех случаях мы будем использовать возможности языка программирования OpenMusic.

Анализ возможностей использования OpenMusic для изучения принципов строения спектральной музыки для части пьесы Tristan Murail “Désintégrations” был предпринят нами в [10]. С основами теории ритмов Антонио Грамши можно ознакомиться по видео [11-12]. Сочинение Николая Хруста “Евгеника III. Feedback door man”, при написании которого применялся язык OpenMusic, было исполнено на фестивале “Пять вечеров+1” в Москве в 2021 г. [13]. Это сочинение проливает свет на связь развития музыкального произведения с математической теорией сложности, что также можно извлечь из давней музыкально-теоретической работы Ю.М. Буцко, воспроизведенной в [14].

### *2. Объектно-ориентированный язык программирования OpenMusic*

Любой язык программирования содержит два класса объектов: для хранения информации и осуществляющих операции над информацией. Самая общая классическая схема вычислений представляет последовательность действий над информацией, хрянящейся в битах [15].

Среда OpenMusic была написана на языке программирования Lisp, в котором как объекты, предназначенные для хранения информации, так и функции над этими объектами задаются при помощи строк, разделенных открывающимися и закрывающимися скобками. Основным достоинством

OpenMusic, по сравнению с обычным языком программирования, является удобный графический интерфейс, вид которого часто отвечает традиционной музыкальной нотации.

Ниже мы приведем несколько основных типов объектов, которые будем использовать. Во-первых, это, конечно, просто строка, состоящая из цифр и скобок. Такой способ хранения данных характерен для Lisp. Обыкновенно такая строка наделяется структурой дерева при помощи скобок:

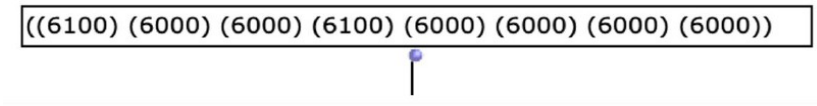



*Рис. 1. Основной способ хранения данных*
*Fig. 1. Main method of data storage*
*圖 1. 儲存資料的主要方法*

На Рис. 1 изображена последовательность четырехзначных цифр, разделенных скобками. Звуковысотность нот в OpenMusic принято измерять в мидицентах. В отличии от единиц звуковысотности в миди, измеряемых в единицах, приписываемых белым и черным клавишам рояля с тем расчетом, что “ля” первой октавы имеет номер 69, на один мидицент приходится в сто раз большая величина. Это делается для того, чтобы можно было записывать ноты с более сложной звуковысотностью, например, четвертьтона. Получается, что мы видим последовательность нот первой октавы, состоящую из до и до#.

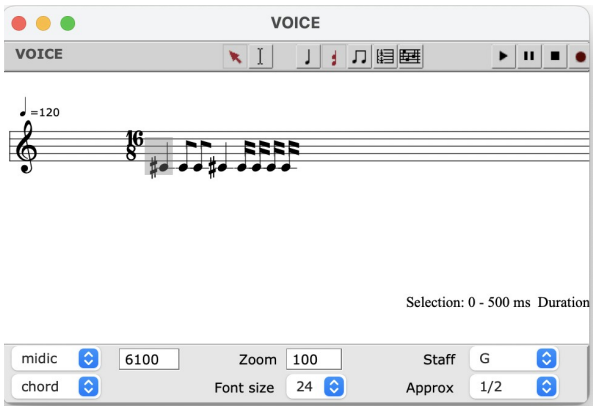



*Рис. 2. Объект для хранения данных Voice*
*Fig. 2. Voice data storage object*
*圖 2. 語音資料儲存對象*

Другой типичный пример объекта, предназначенного для хранения данных, приведён на Рис. 2. Тут, тем не менее, следует сразу оговориться. Хотя то, что мы видим, очень напоминает обычную музыкальную нотацию, в эту запись может вкладываться принципиально другой смысл. Например, данная

последовательность может определять ритм. В этом случае доли длительности нот задают структуру ритма, а звуковысотность на нотном стане означает выбор инструмента на котором будет происходить извлечение звука (высокие или низкие бонги, конги и т.п.)

Нотные записи первого и второго типа, изображенные на Рис. 1 и Рис. 2, могут быть преобразованы друг в друга. При этом наглядное графическое изображение Рис. 2 превращается в сложное дерево Рис. 1 с большим количество скобок. Отметим, что строками вида, изображенного на Рис. 1 можно определять не только последовательность нот или аккордов, но и ритмические деревья, простейший пример которых изображен на Рис. 3. Цифры на рисунке означают последовательно: количество тактов (один), размер такта (четыре четверти) и деление такта на отдельные доли (2+1+1).

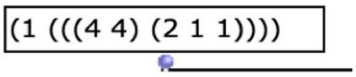



*Рис. 3. Простейший пример записи ритмического дерева*
*Fig. 3. The simplest example of recording a rhythm tree*
*圖 3. 錄製節奏樹最簡單的範例*

Как уже было указано выше, ко второму классу объектов относятся функции, позволяющие изменять информационные данные. Мы не ставим для себя целью описать все подобные функции. Это невозможно, да и не нужно. Поскольку далее речь пойдёт об использовании алгоритмов при создании музыкальных сочинений, нам потребуется, прежде всего, создание циклов, при котором будут последовательно перебираться некоторые данные.

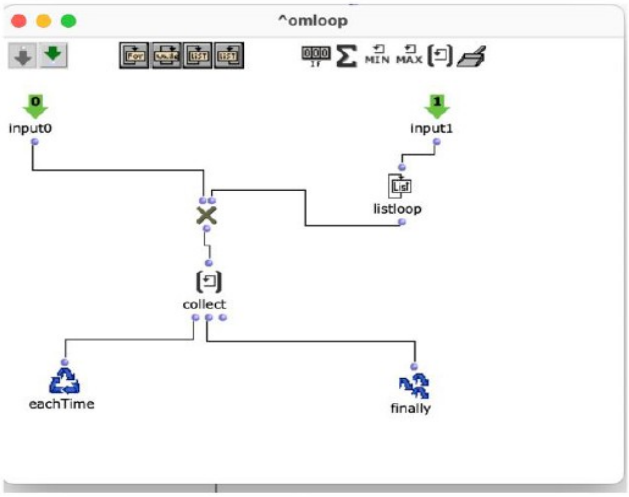



*Рис. 4. Организация циклов*
*Fig. 4. Cycle organization*
*圖 4. 循環組織*

Основным объектом, осуществляющим данную операцию в OpenMusic является omloop, внешний вид которого приведен на Рис. 4.На Рис. 4 мы видим, что числа, содержащиеся на входах input0 и input1 перемножаются друг с другом. Программа создаёт список, содержащий результаты такого перемножения. Здесь мы сталкиваемся  с ещё одной операцией над данными, которая является их обычным умножением друг с другом. Конечно, определено и сложение. Эти операции мы не будем обсуждать подробно.

### *3. Анализ одной части сочинения Тристана Мюрая* “Désintégrations”

Пьеса “Désintégrations”, написанная в стиле спектральной музыки Тристаном Мюраем в 1982-83 гг., состоит из 11 частей, для каждой из которых характерна своя работа со спектром, ритмом и текстурой. Мы остановимся на разъяснении идеи, лежащей в основе 10-ой части [10]. В основе данной части пьесы лежит искажение тембра тромбона, который играет ноту ми большой октавы. В качестве точки отсчета берется 12-ый обертон ноты. С каждым новым аккордом он повышается на четвертьтона. Оставшиеся 11 гармоник растягиваются пропорционально. Кроме того, такой динамический процесс, воспринимающийся на слух как увеличение диссонантности, ускоряется во времени.

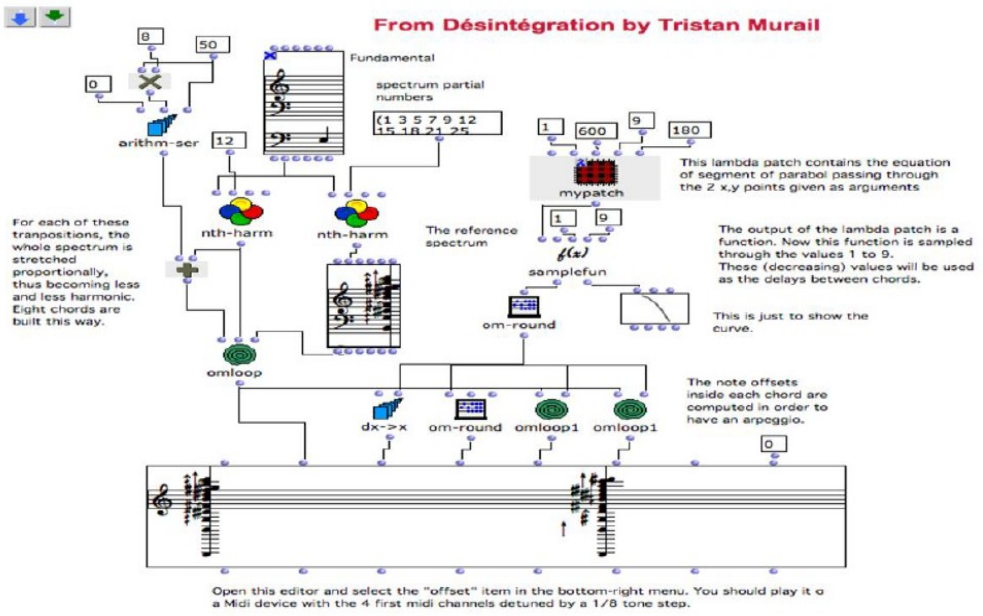



*Рис. 5. Патч, моделирующий последовательность аккордов*
*Fig. 5. Patch modeling a chord progression*
*圖 5. 和弦進行的 Patch 建模*

Для генерации последовательнсти аккордов, лежащей в основе 10-ой части

пьесы можно воспользоваться патчем, написанным в OpenMusic. На Рис 5 ниже изображен патч, позволяющий построить последовательность всё более расстраиваемых аккордов.

Программа работает сверху вниз. Сначала из звука ми большой октавы извлекаются обертоны с номерами, указаннными в окошке, справа от ноты. Получается звук ми с тембром как у тромбона. Его нотная запись можно увидеть ниже. Далее, строится последовательность аккордов со всё более искаженным тембром. Итоговая последовательность аккордов помещена в объект Voice внизу Рис. 5.

**4.** ***Алгебраические операции в теории ритмов Антонио Грамши***

Под ритмом обыкновенно понимается некоторая повторяющаяся структура. Именно в таком виде она появилась у Антонио Грамши - музыканта-мультиинструменталиста и преподавателя школы восточных барабанов. Его интересовало строение существующих ритмов, которые можно выстукивать на барабане, а также, что для нас более интересно, операции, которые можно осуществлять над ритмами. Оказалось, что такие операции, как достаточно естественным образом определяемые сложение и умножение, превращают множество ритмов (точное определение дадим ниже) в алгебраическую структуру. Взяв за основную операцию возведение ритма в степень, мы обнаружили, что изначально прозрачную ритмическую структуру можно значительно усложнять во времени.

Простой ритмический рисунок можно изобразить последовательностью из единиц и нулей, где единица означает наличие удара, а ноль — паузу [11-12]. Сложив количество последовательных нулей со стоящей слева от них единицей, получим запись вида |4221111|. Конечно, умножая каждое из стоящих в записи чисел на одно и то же число, получим тот же самый ритм, поскольку единица времени не имеет абсолютного значения. Например, запись |8442222| или | 16884444| задаёт один ритм. Над ритмами, записанными в таком виде, можно определить значительное число различных алгебраических операций. Для нас их важнейшими примерами являются сложение (конкатенация) и умножение. Результатом сложения двух ритмов является их последовательное исполнение. Более сложную структуру имеет умножение, результатом которого является исполнение одного ритма в ритме другого. Формально математически это означает покомпонентное перемножение цифр, задающих ритмический рисунок. Так |4221111| умножить на |211| даёт |844422422211211211211|.

Чистый ритм (без звуковысотности) может воспроизводится на различных ударных инструментах, имеющих нумерацию миди. Для них зарезервирован канал 10 в компьютерных программах для воспроизведения звука. При этом

можно возводить определенные базовые ритмы в различные степени и воспроизводить сразу нескольких дорожек, содержащих степени ритмов, разными инструментами. Наиболее интересный результат получается при возведении ритма в достаточно высокую (3 или 5) степень. Мы воспользовались для получения таких компьютерных композиций программой OpenMusic. Ниже на Рис. 6 приведен патч, осуществляющий возведение в 5, 6 и 3 степень различных ритмов. После чего они объединяются в объекте Poly.

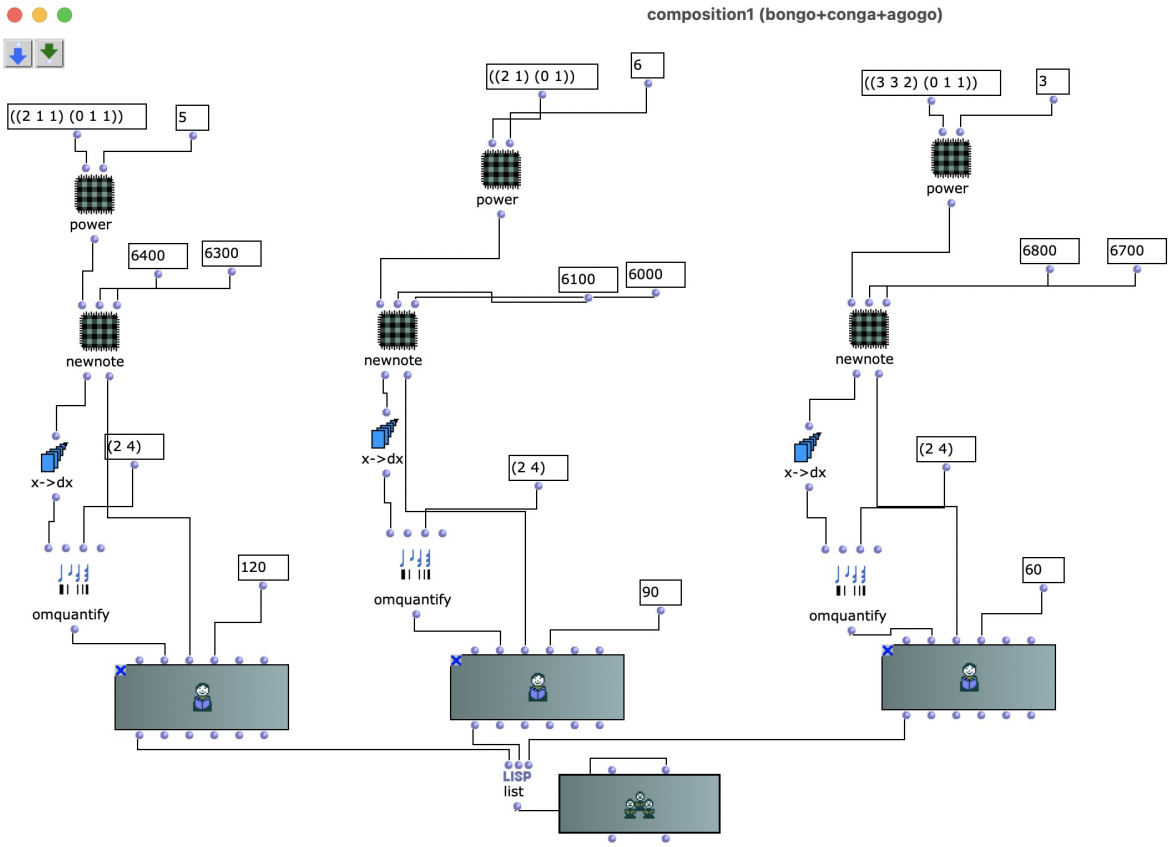



*Рис. 6. Патч, строящий одновременное исполнение трех разных ритмов*
*Fig. 6. A patch that builds the simultaneous performance of three different rhythms*
*圖 6. 建構三種不同節奏同時演奏的補丁*

Приведем напоследок картинку с нотным станом, демонстрирующую результат действия программы OpenMusic. Взглянув на Рис. 7 можно подумать, что мы видим обычную нотную запись. На самом деле, звуковысотность тут означает номер инструмента миди, на котором исполняется данный ритм, а длительность звучания ноты как раз и передает ритмический рисунок.

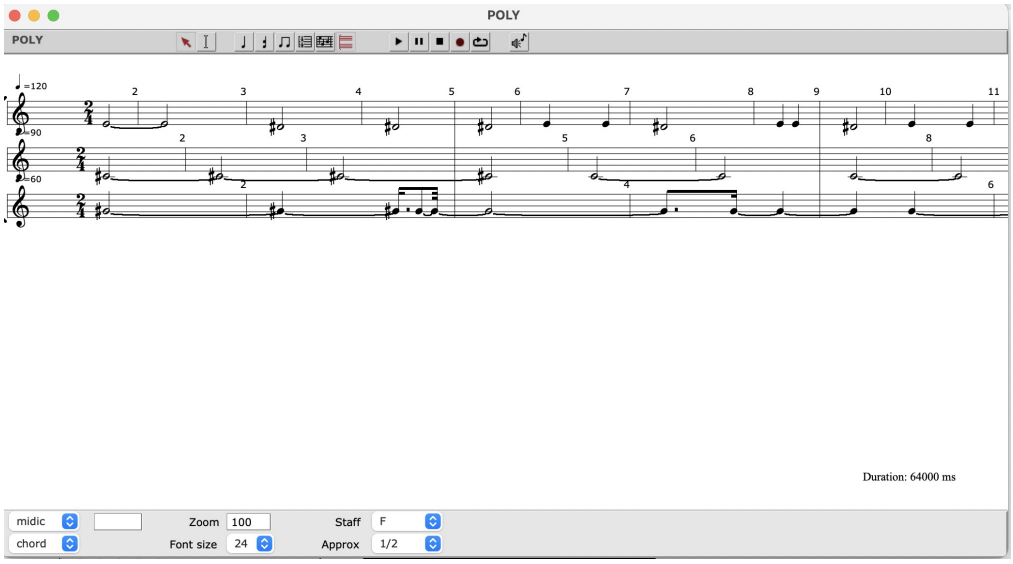



*Рис. 7. Результат действия программы, выводящей композицию ритмов*
*Fig. 7. The result of a program that displays a composition of rhythms*
*圖 7. 顯示節奏組合的程式結果*

### 5. *Возведение интонации в степень в сочинении “Евгеника III. Feedback door man” Николая Хруста*

Ознакомившись с теорией алгебраических операций над ритмами композитор Николай Хруст предложил похожие операции для звуковысотного нотного текста. В качестве параметров ноты были выбраны длительность и высота. При умножении двух нот их длительности складываются, а высоты перемножаются по модулю хроматической гаммы. Такую операцию можно сопоставить сложному умножению двух ритмов, где параметров у каждого из компонентов два. Один из них отвечает за непосредственно величину доли, а второй принимает два значения, одно из которых может быть названо условно “глухой”, а второе “звонкий”. Для ритмов при таком умножении принимается правило, согласно которому умножение двух глухих и двух звонких даёт глухой, а в противном случае, получается звонкий.

Усложнение ритмического рисунка при возведении в степень удивительным образом проявилось и при новом определении умножения. Построение музыкальной пьесы Н. Хруста эксплуатирует принцип повторяемости с целью обогащения на каждом новом витке. Именно это свойство определяет смысл названия “Евгеника”. Ниже, на Рис. 8 приведен простейший патч, написанный в программе OpenMusic, который осуществляет такую операцию.

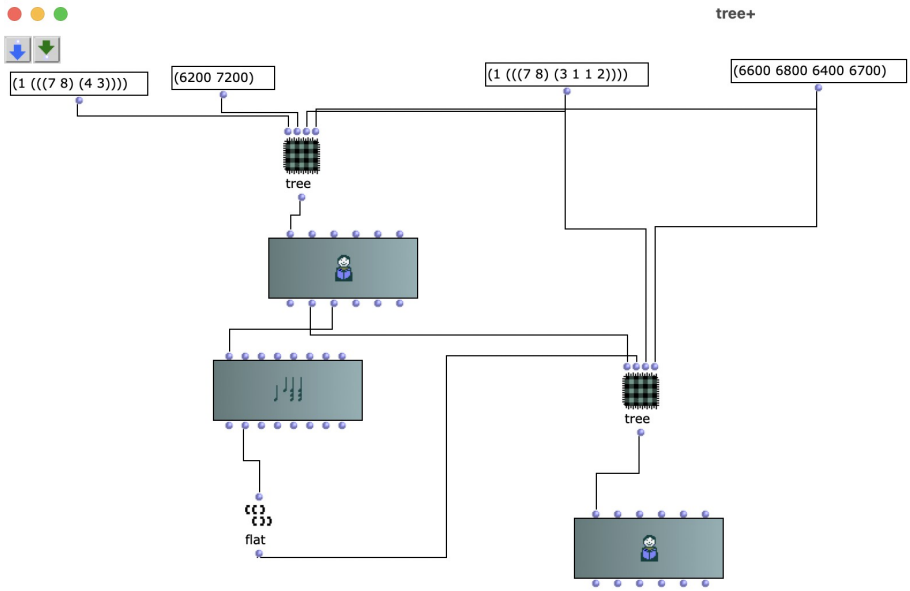



*Рис. 8. Результат умножения двух интонационных рисунков*
*Fig. 8. Result of multiplying two intonation patterns*
*圖 8. 兩種語調模式相乘的結果*

В окошках вверху патча на Рис. 8 мы видим две простейшие мелодии. Тут четырехзначные цифры задают последовательность высот нот, а цифры со сложной системой скобок определяют тактовый размер. Сочинение Николая Хруста, которое, конечно, значительно сложнее приведенных математических схем, было исполнено на фестивале современной музыки в Рахманиновском зале Московской консерватории [13].

## 6. *Заключение*

Мы продемонстрировали возможности объектно-ориентированного языка программирования OpenMusic, написанного специально для нужд композиторов, в трех различных случаях. Это спектральная музыка, позволяющая моделировать различные динамически меняющиеся тембры, алгебраические операции над ритмами и перенос алгебраических операций с ритмов на звуковысотные тексты. Безусловно, этим не исчерпываются все возможности использования алгоритмов при написании музыкального сочинения. Показано, что такой психоакустический результат как ощущение постепенного нарастания сложности может быть получен с помощью использования алгоритмов.

## *1. Introduction*

The problem of storing and processing information representing a certain set of intellectual knowledge has been particularly acute in various fields of science, technology and art in recent years due to the emergence of large data arrays and the emergence of such new processing methods as quantum [1]. In 2019, the national strategy for the development of artificial intelligence was adopted [2], which implies the penetration of new methods into all areas of knowledge.

Music (as an art phenomenon) has a number of parameters, including pitch, rhythm and timbre. Of course, all these parameters have both physical and psychoacoustic components [3]. For more scrupulous information about the principles of creating modern music using electronic devices, we recommend reading the textbook [4]. With traditional notation, the recording of pitch plays the greatest importance, and the problem of specifying the timbre in general is reduced to the name of the instrument on which the performance should be fulfilled. As for the rhythm, the most general instructions are made with the hope of interpretation by professional musicians. Often this approach is not suitable for recording modern compositions in which rhythm and timbre play no less a role than intonation motives.

The manifestation of timbral thematism in the music of D.D. Shostakovich was noted in [5]. The far-reaching development of such ideas led to the emergence of work [6], where it was pointed out the connection between the transition from intonational thematism to timbral and the appearance of quantum information processing methods in the XX century. The use of electronic instruments to create a sound of a certain timbre has a rich history. Russia is in the most impressive positions here [7]. It should be noted that attempts to perform musical compositions on a computer, it turns out, require serious additions to existing formal algorithms, which was vividly demonstrated by the renowned patriarch of research in the field of computer music Max Mathews [8].

To solve this problem, you can use both new methods of musical notation and old ones, giving them some new meaning. In our research, we rely on the object-oriented programming language OpenMusic, created in Paris IRCAM [9]. This programming language, written in the traditional Lisp language, allows you to visualize the information contained in strings using convenient “icons”, often having the form of traditional musical notation, but with a slightly different meaning, allowing you to clearly set not only the pitch, but also the structure of rhythm and timbre.

We show the possibilities of this approach for the implementation of three completely different types of music. This is the so-called spectral music of T. Murail, the theory of rhythms by Antonio Gramsci, as well as one composition by N. Khrust, constructed similarly to the theory of A. Gramsci, but only with the replacement of the interpretation of the parameters that set the rhythm with the parameters of pitch. In all three cases, we will use the capabilities of the Open Music programming

language.

The analysis of the possibilities of using OpenMusic to study the principles of the structure of spectral music for a part of Tristan Murail's piece “Désintégrations” was undertaken by us in [10]. The basics of Antonio Gramsci's theory of rhythms can be found in the video [11-12]. The work of Nikolai Khrust “Eugenics III. Feedback door man”, which was written using the OpenMusic language, was performed at the festival “Five Evenings + 1” in Moscow in 2021 [13]. This work sheds light on the connection between the development of a musical composition and the mathematical theory of complexity, which can also be extracted from the long-standing musical-theoretical work of Yu.M. Butsko, reproduced in [14].

### *2. Object-oriented programming language OpenMusic*

Any programming language contains two classes of objects: for storing information and performing operations on information. The most general classical scheme of calculations represents a sequence of actions on information stored in bits [15].

The OpenMusic environment was written in the programming language Lisp, in which both objects intended for storing information and functions over these objects are specified using strings separated by opening and closing brackets. The main advantage of OpenMusic, in comparison with a conventional programming language, is a user-friendly graphical interface, the appearance of which often corresponds to traditional musical notation.

Below we will list a few basic types of objects that we will use. Firstly, it is, of course, just a string consisting of numbers and brackets. This way of storing data is typical for Lisp. Usually such a string is endowed with a tree structure using brackets:

*Fig. 1. The main way to store data*

Fig. 1 shows a sequence of four-digit numbers separated by parentheses. The pitch of notes in OpenMusic is usually measured in midicents. Unlike the units of pitch in midi, measured in units attributed to the white and black keys of the piano supposing that middle La (A-440) has the number 69, one midicent accounts for a hundred times more. This is done so that it is possible to record notes with a more complex pitch, for example, a quarter tone. It turns out that we see a sequence of notes consisting of middle C and C#.

*Fig. 2. Object for storing data Voice*

Another typical example of an object intended for data storage is shown in Fig. 2. Here, however, you should immediately make a reservation. Although what we see is very similar to ordinary musical notation, a fundamentally different meaning can

be put into this recording. For example, this sequence can determine the rhythm. In this case, the fractions of the duration of the notes set the rhythm structure, and the pitch on the sheet music means the choice of the instrument on which the sound will be extracted (high or low bongs, congas, etc.)

Musical notes of the first and second types, shown in Fig. 1 and Fig. 2, can be converted into each other. At the same time, the visual graphic image of Fig. 2 turns into a complex tree of Fig. 1 with a large number of brackets. Note that the lines of the type shown in Fig. 1 can determine not only the sequence of notes or chords, but also rhythmic trees, the simplest example of which is shown in Fig. 3. The numbers in the figure mean sequentially: the number of bars (one), the size of the bar (four quarters) and the division of the bar into separate fractions (2+1+1).

*Fig. 3. The simplest example of recording a rhythmic tree*

As already mentioned above, the second class of objects includes functions that allow you to change information data. We do not aim to describe all such functions. This is impossible, and it is not necessary. Since next we will talk about the use of algorithms when creating musical compositions, we will need, first of all, the creation of cycles in which some data will be sequentially sorted through. The main object performing this operation in OpenMusic is omloop, the appearance of which is shown in Fig. 4.

In Fig. 4, we see that the numbers contained in the inputs input 0 and input 1 are multiplied with each other. The program creates a list containing the results of such multiplication. Here we are faced with another operation on the data, which is their usual multiplication with each other. Of course, addition is also defined. We will not discuss these operations in detail.

*Fig. 4. Organization of cycles*

### *3. Analysis of one part of Tristan Murail's composition* "Désintégrations"

The piece "Désintégrations", written in the style of spectral music by Tristan Murail in 1982-83, consists of 11 parts, each of which is characterized by its own work with spectrum, rhythm and texture. We will focus on explaining the idea underlying the 10th part [10]. The basis of this part of the piece is the distortion of the timbre of the trombone, which plays E of the great octave. The 12th overtone of the note is taken as a reference point. With each new chord, it rises by a quarter of a tone. The remaining 11 harmonics are stretched proportionally. In addition, such a dynamic process, perceived by ear as an increase in dissonance, accelerates over time.

To generate the chord sequence underlying the 10th part of the piece, you can use a patch written in OpenMusic. Fig. 5 below shows a patch that allows you to build a sequence of increasingly frustrated chords.

*Fig. 5. A patch that simulates a chord sequence*

The program works from top to bottom. First, overtones with the numbers indicated in the window to the right of the note are extracted from the sound of E of the great octave. It turns out the sound of E with the timbre like a trombone. His musical notation can be seen below. Next, a chord sequence is constructed with an increasingly distorted timbre. The final chord sequence is placed in the Voice object at the bottom of Fig. 5.

### 4. *Algebraic operations in the theory of rhythms by Antonio Gramsci*

Rhythm is usually understood as a kind of repetitive structure. It was in this form that it appeared in Antonio Gramsci, a multi-instrumentalist musician and teacher of the school of oriental drums. He was interested in the structure of existing rhythms that can be tapped on the drum, and also, what is more interesting for us, the operations that can be performed on rhythms. It turned out that operations such as addition and multiplication, which are quite naturally defined, turn a set of rhythms (we will give an exact definition below) into an algebraic structure. Taking the exponentiation of rhythm as the main operation, we found that the initially transparent rhythmic structure can be significantly complicated in time.

A simple rhythmic pattern can be represented by a sequence of ones and zeros, where one means the presence of a beat, and zero means a pause [11-12]. Adding up the number of consecutive zeros with one standing to the left of them, we get an entry of the form |4221111|. Of course, multiplying each of the numbers in the record by the same number, we get the same rhythm, since the unit of time has no absolute value. For example, the entry |8442222| or |16884444| sets one rhythm. A significant number of different algebraic operations can be defined over rhythms written in this form. For us, their most important examples are addition (concatenation) and multiplication. The result of the addition of two rhythms is their consistent performance. Multiplication has a more complex structure, the result of which is the performance of one rhythm in the rhythm of another. Formally, mathematically, this means a component-by-component multiplication of numbers that define a rhythmic pattern. So |4221111| multiplied by |211| gives |844422422211211211211|.

*Fig. 6. A patch that builds simultaneous performance of three different rhythms*

A pure rhythm (without pitch) can be played on various percussion instrumentsthat have midi numbering. Channel 10 is reserved for them in computer programs for sound reproduction. At the same time, it is possible to build certain basic rhythms to various degrees and play several tracks containing degrees of rhythms at once with different instruments. The most interesting result is obtained when the rhythm is raised to a sufficiently high (3 or 5) degree. We used the Open

Music program to obtain such computer compositions. Below in Fig. 6 shows a patch that performs the construction of 5, 6 and 3 degrees of different rhythms. After that, they are combined in the object Poly.

*Fig. 7. The result of the program that outputs the composition of rhythms*

Finally, here is a picture with a sheet music mill, demonstrating the result of the Open Music program. Looking at Fig. 7, you might think that we are seeing an ordinary musical notation. In fact, the pitch here means the number of the midi instrument on which this rhythm is performed, and the duration of the sound of the note just conveys the rhythmic pattern.

## 5. *Raising intonation to a degree in the composition "Eugenica III. Feedback door man" by Nikolai Khrust*

Having familiarized himself with the theory of algebraic operations on rhythms, composer Nikolai Khrust proposed similar operations for a high-pitched musical text. Duration and pitch were chosen as the parameters of the note. When two notes are multiplied, their durations are added, and the heights are multiplied modulo the chromatic scale. Such an operation can be compared to a complex multiplication of two rhythms, where each of the components has two parameters. One of them is directly responsible for the value of the fraction, and the second takes two values, one of which can be called conditionally "deaf", and the second "sonorous". For rhythms with such multiplication, a rule is adopted according to which multiplication of two deaf and two sonorous gives a deaf, and otherwise, a sonorous one is obtained.

The complication of the rhythmic pattern during exponentiation was surprisingly manifested in the new definition of multiplication. The construction of a musical piece by N. Khrust exploits the principle of repeatability in order to enrich at each new turn. It is this property that determines the meaning of the name "Eugenica". Below, Figure 8 shows the simplest patch written in the Open Music program, which performs such an operation.

*Fig. 8. The result of multiplying two intonation patterns*

In the windows at the top of the patch in Figure 8, we see two simple melodies. Here, four-digit numbers set the sequence of note heights, and numbers with a complex system of brackets determine the clock size. The composition of Nikolai Khrust, which, of course, is much more complicated than the mathematical schemes given, was performed at the festival of contemporary music in the Rachmaninoff Hall of the Moscow Conservatory [13].

## 6. *Conclusion*

We demonstrated the capabilities of the object-oriented programming language

OpenMusic, written specifically for the needs of composers, in three different cases. This is spectral music that allows you to simulate various dynamically changing timbres, algebraic operations on rhythms and the transfer of algebraic operations from rhythms to sound pitch texts. Of course, this does not exhaust all the possibilities of using algorithms when writing a musical composition. It is shown that such a psychoacoustic result as a feeling of a gradual increase in complexity can be obtained by using algorithms.

## *1、簡介*

近年來，由於大數據陣列的出現以及量子等新處理方法的出現，存儲和處理代表某一組智力知識的信息的問題在科學、技術和藝術的各個領域變得尤為尖銳。 ]。 2019 年，國家人工智慧發展策略的推出[2]，意味著新方法滲透到各個知識領域。

音樂（作為藝術現象）有許多參數，包括音高、節奏和音色。 當然，所有這些參數都具有物理和心理聲學成分 [3]。 有關使用電子設備創作現代音樂的原理的更多詳細信息，我們建議閱讀教科書 [4]。 對於傳統的記譜法，音高的記錄起著最重要的作用，而一般指定音色的問題則被簡化為要完成演奏的樂器的名稱。 至於節奏，最籠統的說明是希望專業音樂家的詮釋。 通常，這種方法不適合錄製節奏和音色與語調動機同樣重要的現代作品。

D.D. 音樂中音色主題主義的表現 蕭斯塔科維奇在[5]中被指出。 這些思想的深遠發展導致了著作[6]的出現，其中指出了從語調民族主題主義到音色的轉變與二十世紀量子資訊處理方法的出現之間的聯繫。 使用電子樂器來創造某種音色的聲音有著悠久的歷史。 俄羅斯在這方面處於最令人印象深刻的位置[7]。 值得注意的是，事實證明，嘗試在電腦上演奏音樂作品需要對現有的形式演算法進行認真的補充，電腦音樂領域的著名研究元老 Max Mathews 生動地證明了這一點 [8]。

為了解決這個問題，你可以同時使用新的樂譜方法和舊的樂譜方法，賦予它們一些新的意義。 在我們的研究中，我們依賴巴黎 IRCAM 創建的物件導向程式語言 OpenMusic [9]。 這種以傳統 Lisp 語言編寫的程式語言可讓您使用方便的「圖示」視覺化字串中包含的訊息，通常具有傳統樂譜的形式，但含義略有不同，使您不僅可以清楚地設定音高，還包括節奏和音色的結構。

我們展示了這種方法實現三種完全不同類型音樂的可能性。 這就是 T. Murail 所謂的光譜音樂，Antonio Gramsci 的節奏理論，以及 N. Khrust 的一首作品，其構建與 A. Gramsci 的理論類似，但只是替換了對用音高參數設置節奏的參數。 在所有這三種情況下，我們都將使用 Open Music 程式語言的功能。

我們在 [10] 中對使用 OpenMusic 研究 Tristan Murail 作品

「Désintégrations」的頻譜音樂結構原理的可能性進行了分析。 安東尼奧·葛蘭西節奏理論的基礎知識可以在影片中找到[11-12]。 尼古拉·赫魯斯特的著作《優生學 III. 使用 OpenMusic 語言編寫的《反饋門人》曾在 2021 年莫斯科「五晚+1」音樂節上演出[13]。 這部作品揭示了音樂作品的發展與複雜性數學理論之間的聯繫，這也可以從 Yu.M. 的長期音樂理論著作中提取出來。 Butsko，轉載於[14]。

***2.物件導向的程式語言 OpenMusic***

任何程式語言都包含兩類物件：用於儲存資訊和對資訊執行操作。 最通用的經典計算方案表示對儲存在位元中的資訊執行一系列操作[15]。

OpenMusic 環境是用程式語言 Lisp 編寫的，其中用於儲存資訊的物件和這些物件上的函數都使用由左括號和右括號分隔的字串指定。 與傳統的程式語言相比，OpenMusic 的主要優點是使用者友善的圖形介面，其外觀通常與傳統的樂譜相對應。

下面我們將列出我們將使用的一些基本類型的物件。 首先，它當然只是一個由數字和括號組成的字串。 這種儲存資料的方式是 Lisp 的典型方式。 通常這樣的字串使用括號賦予樹狀結構：

*圖 1. 儲存資料的主要方式*

圖 1 顯示了由括號分隔的四位數字序列。 OpenMusic 中音符的音高通常以中音來衡量。 與 midi 中的音高單位不同，假設中音 La (A-440) 的數字為 69，則以鋼琴的白鍵和黑鍵的單位來測量，而 1 midicent 的音高則多出一百倍。 這樣做是為了可以錄製具有更複雜音高的音符，例如四分音。 事實證明，我們看到了由中間的 C 和 C# 組成的一系列音符。

*圖 2. 儲存資料 Voice 的對象*

用於資料儲存的物件的另一個典型範例如圖 2 所示。但是，您應該立即進行預訂。 儘管我們所看到的與普通的樂譜非常相似，但這段錄音可以表達出根本不同的意義。 例如，這個順序可以決定節奏。 在這種情況下，音符持續時間的分數決定了節奏結構，樂譜上的音高意味著提取聲音的樂器的選擇（高音或低音煙槍、康加鼓等）

圖 1 和圖 2 所示的第一類型和第二類型的音符可以相互轉換。 同時，圖 2 的視覺圖形影像變成了圖 1 的具有大量括號的複雜樹。 請注意，圖 1 所示類型的線條不僅可以確定音符或和弦的順序，還可以確定節奏樹，最簡單的例子如圖 3 所示。圖中的數字表示順序：數字條形的數量（一）、條形的大小（四分之四）以及將長條分成單獨的分數(2+1+1)。

*圖 3. 錄製節奏樹最簡單的範例*

如上所述，第二類物件包括允許您更改資訊資料的函數。 我們的目的並不是要描述所有這些功能。 這是不可能的，也沒有必要。 由於接下來我們將討論創建音樂作品時演算法的使用，因此我們首先需要建立循環，在循環中一些資料將按順序排序。 OpenMusic 中執行此操作的主要物件是 omloop，其外觀如圖 4 所示。

在圖 4 中，我們看到輸入 0 和輸入 1 中包含的數字相互相乘。 該程式建立一個包含此類乘法結果的清單。 這裡我們面臨著對資料的另一種操作，即它們通常的相互乘法。 當然，加法也是有定義的。 我們不會詳細討論這些操作。

*圖 4. 循環的組織*

### *3. Tristan Murail 作品 «Désintégrations» 的一部分分析*

特里斯坦·穆拉伊(Tristan Murail) 在 1982-83 年以頻譜音樂風格創作的作品《Désintégrations》由 11 個部分組成，每個部分都有自己的頻譜、節奏和織體作品的特點。我們將重點解釋背後的想法第 10 部分[10]。該部分的基礎是長號音色的失真，演奏大八度的 E。音符的第 12 泛音被視為參考點。每個新和弦，它上升四分之一個音調。其餘 11 個和聲按比例拉伸。此外，這種動態過程（被耳朵感知為不和諧音的增加）會隨著時間的推移而加速。

要產生該樂曲第 10 部分的和弦序列，您可以使用以 OpenMusic 編寫的補丁。 下面的圖 5 顯示了一個補丁，它允許您建立一系列逐漸受挫的和弦。

*圖 5. 模擬和弦序列的 Patch*

該程式從上到下運行。 首先，從大八度的 E 音中提取音符右側視窗中指示的數字的泛音。 事實證明，E 的音色像長號一樣。 他的樂譜如下。 接下來，用越來越扭曲的音色建構和弦序列。 最終的和弦序列放置在圖 5 底部的 Voice 物件中。

### *4. 安東尼奧葛蘭西節奏理論中的代數運算*

節奏通常被理解為一種重複結構。 多樂器演奏家音樂家、東方鼓學院教師安東尼奧·葛蘭西正是以這種形式出現的。 他對可以在鼓上敲擊的現有節奏的結構感興趣，而且對我們來說更有趣的是可以對節奏執行的操作。 事實證明，諸如加法和乘法之類的運算是很自然地定義的，它們將一組節奏（我們將在下面給出精確的定義）轉變為代數結構。 以節奏求冪為主要運算，我們發

現最初透明的節奏結構在時間上會變得顯著複雜。

一個簡單的節奏模式可以用一系列 1 和 0 表示，其中 1 表示節拍的存在，0 表示暫停 [11-12]。 將連續零的數量（其中左邊有一個）相加，我們得到 |4221111| 形式的條目。 當然，將記錄中的每個數字乘以相同的數字，我們會得到相同的節奏，因為時間單位沒有絕對值。 例如，條目 |8442222| 或 |16884444| 設定一種節奏。 可以在以這種形式編寫的節奏上定義大量不同的代數運算。 對我們來說，它們最重要的例子是加法（串聯）和乘法。 兩種節奏相加的結果就是他們一致的表現。 乘法具有更複雜的結構，其結果是一種節奏在另一種節奏中的表現。 從形式上來說，從數學上來說，這意味著定義節奏模式的數字的逐個分量相乘。 所以 |4221111| 乘以 |211| 給出 |844422422211211211211|。

*圖 6. 建構三種不同節奏同時演奏的補丁*

純節奏（無音高）可以在具有 midi 號碼的各種打擊樂器上演奏。 電腦程式中為他們保留了第 10 頻道，用於聲音再現。 同時，可以建立不同程度的某些基本節奏，並用不同的樂器同時演奏多個包含節奏程度的曲目。 當節奏提升到足夠高（3 或 5）度時，會得到最有趣的結果。 我們使用 Open Music 程式來獲取此類電腦作品。 下面的圖 6 顯示了一個執行 5、6 和 3 度不同節奏構建的補丁。 之後，它們被組合在 Poly 物件中。

*圖 7. 輸出節奏構成的程式結果*

最後，這是一張樂譜工廠的圖片，展示了開放音樂計畫的結果。 看圖 7，您可能會認為我們看到的是普通的樂譜。 事實上，這裡的音高是指演奏該節奏的 MIDI 樂器的編號，而音符聲音的持續時間只是傳達了節奏模式。

### *5. 將樂曲 «Eugenica III. 中的語調提升到一定程度。 回饋門人» 作者：Nikolai Khrust*

作曲家尼古拉·赫魯斯特熟悉了節奏代數運算理論後，提出了針對高音音樂文本的類似運算。 選擇持續時間和音高作為音符的參數。 當兩個音符相乘時它們的持續時間相加，高度乘以半音階的模數。 這樣的運算可以與兩個節奏的複雜乘法進行比較，其中每個分量都有兩個參數。 其中一個直接負責分數的值，第二個取兩個值，其中一個可以稱為有條件“聾”，第二個可以稱為“響亮”。 對於具有這種乘法的節奏，採用一種規則，根據該規則，兩個聾子和兩個響亮的相乘得到聾子，否則獲得響亮的。

求冪過程中節奏模式的複雜性在乘法的新定義中令人驚訝地表現出來。

N. Khrust 的音樂作品的建構利用了可重複性原則，以便在每個新轉折處豐富內容。 正是這個屬性決定了「Eugenica」這個名字的意義。 下面的圖 8 顯示了在 Open Music 程式中編寫的最簡單的補丁，它執行這樣的操作。

*圖 8. 兩種語調模式相乘的結果*

在圖 8 中補丁頂部的視窗中，我們看到兩個簡單的旋律。 在這裡，四位數字設定音符高度的順序，帶有複雜括號系統的數字確定時鐘尺寸。 尼可拉·赫魯斯特的作品當然比給出的數學方案複雜得多，是在莫斯科音樂學院拉赫曼尼諾夫音樂廳的當代音樂節上演奏的[13]。

### *6. 結論*

我們在三種不同的情況下演示了專門為滿足作曲家的需求而編寫的物件導向程式語言 OpenMusic 的功能。 這是頻譜音樂，可讓您模擬各種動態變化的音色、節奏的代數運算以及從節奏到音高文字的代數運算的轉換。 當然，這並沒有窮盡在創作音樂作品時使用演算法的所有可能性。 結果表明，利用演算法可以獲得複雜度逐漸增加的感覺的心理聲學結果。

***Литература*** ***References*** ***參考書目***


1. Nielsen M., Chuang I. Quantum Computation and Quantum Information. 2011.

2. National Strategy for the development of Artificial Intelligence for the period up to 2030, Electronic resource.

URL: http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/AH4x6 HgKWANwVtMOfP DhcbRpvd1HCCsv.pdf

3. Aldoshina I., Pritts R. Musical Acoustics. 2014 (in Russian).

4. Amosov G.G., Nadzharov A.S., Khrust N.Yu. Lectures on electroacoustic music.2017 (in Russian).

5. Denisov E.V. Modern music and the problem of the evolution of compositional technique.1986 (in Russian).

6. Amosov G.G., Komissarenko A.V. The history of European music as a passage from classical physics to quantum mechanics // 9th International conference on music perception and cognition, Bologna, August 22-26 2006

7. Barkalaya N., Komissarenko A. Electric musical instruments in Russia in the 20th century // Academic Forum “Integral Music Theory” 2018. URL: http://integral-music-theory.com/archiv%D0%B5/academic_forum_2018.pdf (in Russian)

8. Max Mathews Radio Baton Demonstration // Electronic resource. URL:

https://www.youtube.com/watch?v=3ZOzUVD4oLg

9. *Agon C*. OpenMusic: Un langage visuel pour la composition musicale assistée par ordinateur. PhD Thesis. Paris VI. 1998.

10. Amosov G.G., Nadzharov A.S. Object-oriented programming language OpenMusic and its use for analyzing the concept of creating musical works // Neurocomputers: development, application. 2015. № 9. C. 67-76 (in Russian).

11. A. Gramsci, G. Amosov. Algebra of rhythms // Electronic resource. URL: https://www.youtube.com/watch?v=6yMdT3LN9pI

12. Amosov G.G., Gramsci A. Algebra of rhythms and its computer implementation in the program OpenMusic //Biomashsystems. 2018. T. 2. № 3. C. 171-183 (in Russian).

13. Five Evenings+1. Chamber Festival of the Union of Composers of Russia // Electronic resource.

URL: https://www.unioncomposers.ru/public/upload/1/9dcae13935-booklet-2021.pdf

14. Butsko Yu.M. The phenomenon of the mass of sound (to the question of the analysis of thematism) // Scientific Bulletin of the Moscow Conservatory. 2016. T. 7. в. 3. C. 32-45 (in Russian).

15. Turing A On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem // Proceedings of the London Mathematical Society. Series 2. 1937. V. 42. № 1. P. 230–265.

DOI 10.18699/sblai2023-49
УДК 515.1, 004.8

# Применение топологии для оптического распознавания

# Application of topology to optical recognition

# 拓樸結構在光學辨識的應用

Щепин Е.В.
*чл.-корр. РАН*
*Математический институт им. В.А. Стеклова РАН,*
*Москва, Россия*
*corresponding member of the Russian Academy of Sciences,*
*Steklov Mathematical Institute of RAS*
*Moscow, Russia*
*俄羅斯科學院通訊院士，*
*俄羅斯科學院斯特克洛夫數學研究所*
*俄羅斯莫斯科*
*scepin@mi-ras.ru*

Рукописный символ формируется из небольшого количества тонких линий. При сканировании его изображения появляется булева матрица, единицы которой соответствуют пикселям изображения, а нули — пикселям фона. Толщина линий, составляющих изображение символа, зависит от разрешения сканера и может быть очень значительной.

В работе обсуждаются алгоритмы на основе топологии, которые позволяют найти подмножество тонких линий в булевой матрице символа, сохраняя их существенные характеристики для распознавания символов, такие как направление, относительная длина, тип выпуклостей и структура пересечения.

The handwritten symbol is formed from a small number of thin lines. When scanning its image, a Boolean matrix appears, the units of which correspond to the pixels of the image, and the zeros correspond to the pixels of the background. The thickness of the lines that make up the symbol image depends on the resolution of the scanner and can be very significant.

The paper discusses topology-based algorithms that make it possible to find a subset of thin lines in the Boolean matrix of a symbol, preserving their essential characteristics for character recognition, such as the direction, relative length, type of bulges, and intersection structure.

手寫字元是由少量的細線組成的。 當掃描其影像時，會出現一個布林矩陣，其中的 1 對應於影像像素，0 對應於背景像素。 構成符號影像的線條粗

細取決於掃描器的分辨率，並且可能非常重要。 本文討論了基於拓撲的演算法，該演算法可以在布林字元矩陣中找到細線的子集，同時保留其字元辨識的基本特徵，例如方向、相對長度、凹凸類型和交叉模式。

***Литература*** ***References*** ***參考書目***

Nepomnyashchy G. M., Shchepin E. V., Towards a topological approach in image analysis, Geometry, topology and applications, Interuniversity Collection of Scientific Papers, Min. of Higher, Secondary and Special Education. RSFSR, Moscow Institute of Instrument Engineering, Moscow, 1990, p. 13-25.

DOI 10.18699/sblai2023-50
УДК 515.1, 004.8

# *Каждый ли узел изотопен PL узлу?*

# *Is every knot isotopic to a PL knot?*

# *每個結都是 PL 結的同位素嗎？*

Мелихов С.А.
*кандидат физико-математических наук,*
*Математический институт им. В.А. Стеклова РАН*
*Москва, Россия*
*Candidate of Physical and Mathematical Sciences,*
*Steklov Mathematical Institute of RAS*
*Moscow, Russia*
*物理和數學科學候選人，*
*俄羅斯科學院斯特克洛夫數學研究所*
*俄羅斯莫斯科*
*melikhov@mi-ras.ru*

В 1974 году Д. Рольфсен поставил следующую проблему: каждый ли узел в $S^3$ изотопен (=гомотопен посредством вложений) PL узлу или, что то же самое, неузлу? В частности, является ли строп Бинга изотопным PL узлу?

В 2005 году на конференции «Многообразия и их отображения» (Siegen, Germany) я озвучил следующие результаты по этой теме.

***Теорема 1***. Некоторое двухкомпонентное звено с lk = 0 не изотопно ни одному PL-звену.

***Теорема 2***. Слинг Бинга не изотопен ни одному PL узлу

(*а*) любой изотопией, продолжающейся до изотопии 2-компонентного звена с lk = 1;

(*б*) через узлы, являющиеся пересечениями вложенных последовательностей полноторий.

Слинг Бинга (R. H. Bing, 1956) представляет собой пересечение вложенной последовательности полноторий $\nabla_{(K,K')}(z)/\nabla_{(K)}(z)\nabla_{(K')}(z)$ , где каждый $T_{k+1}$ представляет собой достаточно малую регулярную окрестность прообраза $M_k \subset T_k$ кривой Мазура $M_k \subset T_k$ при подходящим образом выбранной (геометрически неискаженной) раскрученный нк-складной чехол $T_k \to T_1$ ; пока последовательность $n_k$ увеличивается достаточно быстро, $\cap_i T_i$ гомеоморфен $S_1$. Последовательность $n_k$ также должна возрастать достаточно быстро, чтобы доказательство теоремы 2 работало, что представляет собой другое (алгебраическое) условие, которое может подразумеваться или не подразумеваться предыдущим (геометрическим) условием.

Доказательство теоремы 1 было написано (и опубликовано) пару лет назад (см. arXiv:2011.01409). Этот аргумент можно назвать геометрическим; он основан на инвариантах Кокрена $\beta_i$, которые расширяются до изотопических инвариантов топологических связей с использованием бесконечных гомологичных поверхностей Зейферта.

Доказательство теоремы 2 было написано в 2023 году и будет обсуждаться в этом докладе (по модулю лемм). Это рассуждение можно назвать алгебраическим. Доказательство (b) и случая (a), когда изотопия вставленного узла K' равна PL, основано на полиноме Конвея. А, точнее, на его уменьшенной версии

$$\nabla_{(K,K')}(z)/\nabla_{(K)}(z)\nabla_{(K')}(z) \ ,$$

которая расширена до изотопического инварианта топологических связей (см. arXiv:0312007) с использованием их PL-аппроксимаций и понятия n-квазиизотопии (см. arXiv:0103113).

Доказательство общего случая (a) основано на полиноме Конвея от 2 переменных

$$\nabla_{(K,K')}(z,w,\xi)\in\mathbb{Z}[z,w,\xi]/(\xi^2+zw\xi-z^2-w^2-4)\subset Q[z,w][\sqrt{z^2w^2+4(z^2+w^2+4)}] \ ,$$

(см. arXiv:0312007), а точнее на однопараметрическом подсемействе $\beta_1$, $\beta_2$, ... коэффициентов его сокращенной версии

$$\nabla_{(K,K')}(z)/\nabla_{(K)}(z)\nabla_{(K')}(z) \ ,$$

которая в случае lk = 0 совпадает с последовательностью инвариантов, полученных Cochran. В случае lk = 1 эти целые числа β i демонстрируют гораздо более тонкое геометрическое поведение, чем исходные.

Инварианты Cochran, и именно эта тонкость (о которой мы будем говорить в докладе, если позволит время) до сих пор оставляет проблему Рольфсена открытой.

D. Rolfsen posed the following problem in 1974: Is every knot in $S^3$ isotopic (=homotopic through embeddings) to a PL knot or, equivalently, to the unknot? In particular, is the Bing sling isotopic to a PL knot?

In 2005, at the conference "Manifolds and their Mappings" (Siegen, Germany) I announced the following results on this subject.

***Theorem 1.*** A certain 2-component link with lk = 0 is not isotopic to any PL link.

***Theorem 2.*** The Bing sling is not isotopic to any PL knot

(*a*) by any isotopy which extends to an isotopy of a 2-component link with lk = 1;

(*b*) through knots that are intersections of nested sequences of solid tori.

The Bing sling (R. H. Bing, 1956) is the intersection of a nested sequence of solid tori $\nabla_{(K,K')}(z)/\nabla_{(K)}(z)\nabla_{(K')}(z)$ , where each $T_{k+1}$ is a suciently small regular neighborhood of the preimage $M_k \subset T_k$ of the Mazur curve 002 $M_k \subset T_k$ under a suitably chosen (geometrically undistorted) untwisted $n_k$-fold cover $T_k \to T_1$ ; as long as the sequence $n_k$ increases rapidly enough, $\cap_i T_i$ is homeomorphic to $S^1$. The sequence $n_k$ also needs to increase rapidly enough for the proof of Theorem 2 to work, which is a dierent (algebraic) condition, which may or may not be implied by the previous (geometric) condition.

The proof of Theorem 1 has been written up (and published) a couple of years ago (see arXiv:2011.01409). This argument can be called geometric; it is based on Cochran's derived invariants $\beta_i$, which are extended to isotopy invariants of topological links by using innite homological Seifert surfaces.

The proof of Theorem 2 has been written up in 2023 and will be discussed in this talk (modulo lemmas). This argument can be called algebraic. The proof of (*b*), and of the case of (*a*) where the isotopy of the inserted knot *K*' is PL, is based on the Conway polynomial. Or rather on its reduced version

$$\nabla_{(K,K')}(z)/\nabla_{(K)}(z)\nabla_{(K')}(z) \ ,$$

which is extended to an isotopy invariant of topological links (see arXiv:0312007) by using their PL approximations and the notion of n-quasi-isotopy (see arXiv:0103113).

The proof of the general case of (*a*) is based on the 2-variable Conway polynomial

$$\nabla_{(K,K')}(z,w,\xi) \in \mathbb{Z}[z,w,\xi]/(\xi^2+zw\xi-z^2-w^2-4) \subset Q[z,w][\sqrt{z^2w^2+4(z^2+w^2+4)}] \ ,$$

(see arXiv:0312007) and more precisely on a 1-parameter subfamily $\beta_1$, $\beta_2$, ... of the coecients of its reduced version

$$\nabla_{(K,K')}(z)/\nabla_{(K)}(z)\nabla_{(K')}(z) \ ,$$

which in the case lk = 0 coincides with the sequence of Cochran's derived invariants. In the case lk = 1 these integers $\beta_i$ exhibit a much more subtle geometric behavior than the original

Cochran's invariants, and it is this subtlety (which will be discussed in the talk if time permits) that still keeps Rolfsen's problem open.

D. Rolfsen 在 1974 年提出了以下問題：S3 同位素（=透過嵌入的同位）中的每個結都是 PL 結，還是等價的，到 unknot？ 特別是，Bing 吊帶是 PL 接面的同位素嗎?

2005 年，在「流形及其映射」會議（德國錫根）上，我宣布了關於該主題的以下結果。

定理 1. lk = 0 的某個 2 分量連結不是任何 PL 連結的同位素。

定理 2. Bing 吊索不是任何 PL 結的同位素

(*a*) 由延伸至 lk = 1 的二元連結的同位素的任何同位素；

(*b*) 透過實體環面嵌套序列的交叉點。

Bing sling (R. H. Bing, 1956) 是實體圓環 $\nabla_{(K,K')}(z)/\nabla_{(K)}(z)\nabla_{(K')}(z)$ 的嵌套序列的交集，其中每個 $T_{k+1}$ 是在適當選擇的（幾何不扭曲）下Mazur 曲線 $M_k \subset T_k$ 的原像 $M_k \subset T_k$ 的足夠小的規則鄰域。 ） 未扭曲的 nk 折疊蓋 $T_k \to T_1$ ； 只要序列 $n_k$ 增加得夠快，$\cap_i T_i$ 就同胚於 $S_1$。 序列 $n_k$ 還需要足夠快地增加以使定理 2 的證明起作用，這是一個不同的（代數）條件，它可能由先前的（幾何）條件暗示，也可能不暗示。

定理 1 的證明已於幾年前撰寫（並發表）（參見 arXiv:2011.01409）。這個論證可以稱為幾何論證； 它基於 Cochran 導出的不變量 $\beta_i$，透過使用無限同調 Seifert 曲面將其擴展到拓撲鏈結的同位素不變量。

定理 2 的證明已於 2023 年寫出，並將在本次演講中討論（模引理）。這個論證可以稱為代數論證。 (*b*) 以及插入結 K’ 的同位素為 PL 的 (a) 情況的證明是基於康威多項式。 或者更確切地說是它的簡化版本

$$\nabla_{(K,K')}(z)/\nabla_{(K)}(z)\nabla_{(K')}(z)$$

透過使用它們的 PL 近似和 n-準同位素的概念（參見 arXiv：0103113），將其擴展到拓撲連結的同位素不變量（參見 arXiv：0312007）。

(*a*) 一般情況的證明是基於 2 變數 Conway 多項式

$$\nabla_{(K,K')}(z,w,\xi) \in \mathbb{Z}[z,w,\xi]/(\xi^2+zw\xi-z^2-w^2-4) \subset Q[z,w][\sqrt{z^2w^2+4(z^2+w^2+4)}] \ ,$$

（參見 arXiv:0312007），更準確地說是關於其簡化版本係數的 1 參數子族 $\beta_1, \beta_2, ...,$

$$\nabla_{(K,K')}(z)/\nabla_{(K)}(z)\nabla_{(K')}(z) \ ,$$

在 lk = 0 的情況下，與 Cochran 導出的不變量序列一致。 在 lk = 1

的情況下，這些整數 $\beta_i$ 表現出比原始更微妙的幾何行為

科克倫的不變量，正是這種微妙之處（如果時間允許，我們將在演講中討論）仍然使羅爾夫森的問題保持開放。

DOI 10.18699/sblai2023-51
УДК 617.735

# *Механизм генерации, передачи и обработки зрительного (фоторецепторного) сигнала в сетчатке глаза*

# *The mechanism of generation, transmission and processing of visual (photoreceptor) signal in the retina*

# *眼睛視網膜中視覺（感光）訊號的產生、傳遞與處理機制*

**Островский М.А.**

*академик РАН, Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН*
*Кафедра молекулярной физиологии Биологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова*
*Academician of the Russian Academy of Sciences, Institute of Biochemical Physics named after. N. M. Emanuel RAS*
*Department of Molecular Physiology, Faculty of Biology, Moscow State University. M. V. Lomonosova*
*以俄羅斯科學院生化物理研究所院士的名字命名。 N. M. 伊曼紐拉斯*
*莫斯科國立羅蒙諾索夫大學生物學院分子生理學系*
*ostrovsky3535@mail.ru*

***Аннотация.*** «Сетчатка – это часть центральной нервной системы, периферическая часть мозга». Это утверждение великого испанского гистолога, Лауреата Нобелевской премии Рамон-и-Кахал приобретает в настоящее время всё больший смысл. В сетчатке происходит сложнейшая обработка зрительной информации, которая затем передаётся в зрительные центры мозга. Подробно рассмотрен самый первый этап зрительного акта – создание и передача зрительного (фоторецепторного) сигнала. Также рассмотрены уникальная по скорости и эффективности первичная фотохимическая реакция и затем последующие темновые, биохимические процессы преобразования энергии поглощённого кванта света в электрический (фоторецепторный) потенциал зрительной клетки; иными словами, механизм генерации зрительного сигнала. Далее рассмотрена структура первого фоторецепторного синапса сетчатки и механизм передачи зрительного (фоторецепторного) сигнала в этом синапсе следующим нервным клеткам сетчатки. Рассмотрена также обработка этого сигнала в первом синапсе, результатом которой является формирование в сетчатке двух путей обработки зрительной информации – ON-и OFF-путей. Механизмы обработки зрительной информации в нервных слоях сетчатки глаза остаются актуальнейшей, междисциплинарной проблемой современной науки о путях обработки информации в живых системах.

***Ключевые слова:*** сетчатка глаза, фоторецпторный сигнал, обработка информации, синапсы, палочки, колбочки, зрительный нерв, искусственный интеллект

***Annotation.*** “The retina is part of the central nervous system, the peripheral part of the brain”. This statement of the great Spanish histologist, Nobel Prize winner Ramon y Cajal is currently gaining more and more meaning. The most complex processing of visual information occurs in the retina, which is then transmitted to the visual centers of the brain. The very first stage of the visual

act is considered in detail - the creation and transmission of a visual (photoreceptor) signal. The primary photochemical reaction, unique in speed and efficiency, and then the subsequent dark, biochemical processes of converting the energy of an absorbed light quantum into the electrical (photoreceptor) potential of the visual cell are also considered; in other words, the mechanism for generating the visual signal. Next, the structure of the first photoreceptor synapse of the retina and the mechanism of transmission of the visual (photoreceptor) signal in this synapse to the following retinal nerve cells are considered. The processing of this signal in the first synapse is also considered, which results in the formation of two pathways for processing visual information in the retina - ON and OFF pathways. The mechanisms of visual information processing in the neural layers of the retina remain the most pressing, interdisciplinary problem of modern science about the ways of information processing in living systems.

***Keywords***: retina, photoreceptor signal, information processing, synapses, rods, cones, optic nerve, artificial intelligence

***註解。***「視網膜是中樞神經系統的一部分，是大腦的外圍部分」。 西班牙偉大的組織學家、諾貝爾獎得主拉蒙・卡哈爾的這句話目前變得越來越有意義。 最複雜的視覺訊息處理發生在視網膜中，然後傳遞到大腦的視覺中心。詳細考慮視覺行為的第一階段－視覺（感光器）訊號的創建與傳輸。 也考慮了速度和效率獨特的初級光化學反應，以及隨後將吸收的光量子的能量轉化為視覺細胞的電（光感受器）電位的暗生化過程； 換句話說，產生視覺訊號的機制。 接下來，考慮視網膜第一個感光器突觸的結構以及該突觸中的視覺（感光器）訊號傳遞到後續視網膜神經細胞的機制。 也考慮了第一個突觸中該訊號的處理，這導致在視網膜中形成兩個處理視覺訊息的路徑——ON 和 OFF 通路。視網膜神經層視覺訊息處理機制仍然是現代科學中關於生命系統訊息處理方式的最緊迫的跨學科問題。

***關鍵字：*** 視網膜，感光訊號，訊息處理，突觸，視桿細胞，視錐細胞，視神經，人工智慧

***Дорогие коллеги!***

Наш Конгресс уникален своей междисциплинарностью. И я думаю, что участие в нём физиологов принципиально важно. Важно не в том смысле, что конкретные, особенно полученные в последнее время знания о работе мозга, работе сенсорных систем, о механизмах создания, обработки и передачи информации в живых системах, наконец, о механизмах памяти и даже сознания можно будет каким-то образом перенести в информационные технологии, в совершенствование того, что мы условно называем «искусственный интеллект». А важно, как мне представляется, участие физиологов в том, другом смысле, что эти знания расширяют кругозор, наводят, быть может, специалистов этих самых информационных технологий на новые мысли. Как говорится, «знание-сила!». Поэтому серия докладов физиологов на этом Конгрессе и естественна, и, наверняка, может быть интересна и полезна «информационным людям», как, например, доклад академика К.В. Анохина о современных проблемах и подходах к механизмам сознания.

То, о чем я сегодня буду говорить, касается молекулярных механизмов создания информации в живых системах, а конкретно о создании зрительной информации в ответ на поглощение света зрительными клетками сетчатки глаза.

В этой области сенсорной физиологии за последние десятилетия достигнуты поразительные успехи. Но прежде, чем говорить о молекулярных основах, я должен сказать несколько слов о фундаментальных физиологических основах зрения. Из этих физиологических основ проистекли современные молекулярные основы создания зрительного сигнала, то есть зрительной информации в живой системе. Начну я с физиков и порога абсолютной световой чувствительности глаза.

***Физики и зрение***

Физиков всегда интересовала природа зрения. В девятнадцатом и первой половине двадцатого веков они внесли решающий вклад не только в понимание оптики глаза (Иоган Кеплер \1611\ «Хрусталик – это фокусирующая линза»), в теорию цветового зрения (Томас Юнг \1802\, Дж. Максвелл \1861\, Герман Гельмгольц \1856\), но и в определение абсолютной световой чувствительности зрительной системы. Первое и вполне грамотное определение порога световой чувствительности глаза человека было сделано в конце XIX века Самуэлем Р. Лэнли (1834 - 1906) - физиком, астроном, изобретателем болометра. Его значение порога абсолютной световой чувствительности – $3x10^{-9}$ эрг или около 800 квантов, падающих на роговицу, оказалось лишь на порядок выше современных значений. По существу, следующими физиками, сделавшим важный шаг в этом направлении, были Ю. Б. Харитон и С.И. Вавилов.

Ю. Б. Харитон – один из «отцов» советской атомной бомбы, попав в 1926 году в Кембридж, в Кавиндишскую лабораторию и получив от Эрнста Розерфорда и Дж. Чэдвика классическую задачу ядерной физики того времени — счета $\alpha$-частиц, использует для ее решения глаз человека [1].

С.И. Вавилов и его сотрудники в Ленинграде в 30-х годах, в Государственном оптическом институте активно занимаются квантовой природой света. Живо интересуясь природой зрения и историей науки о зрении, С.И. Вавилов также выполняет серию работ, из результатов которых он определяет порог абсолютной световой чувствительности глаза человека [2-4].

В сугубо физическом Государственном оптическом институте ещё в 1923 г. была создана специальная лаборатория глазной оптики. А когда в 1931 г этот институт возглавил С.И. Вавилов, её переименовали в лабораторию физиологической оптики. С.И. Вавилову и его сотрудникам удалось установить и квантовую природу света, и экспериментально измерить пороговую чувствительность глаза. Эти исследования и в физике, и в физиологии по праву считаются классическими.

На рис.1 я показываю вам фотографию (слева) академика Юлия Борисовича Харитона (он в центре), я рядом с ним, справа – его учитель, академик Николай Николаевич Семёнов, Лауреат Нобелевской премии, создатель Института химической физики, в который он меня с группой

сотрудников принял в далёком 1969 году, а слева от Харитона академик Яков Борисович Зельдович, второй «отец» советской атомной бомбы, тоже ближайший ученик Николая Николаевича Семёнова.




*Рис. 1. Фотографии Я.Б.Зельдовича, Ю.Б.Харитона, Н.Н. Семенова, С.И. Вавилова*
*Fig. 1. Photos of Ya.B.Zeldovich, Yu.B.Khariton, N.N. Semenova, S.I. Vavilova*
圖 *1.Ya.B.* 拍攝的照片 澤爾多維奇 , *Y.B.* 哈里頓 , *N.N.* 塞梅諾娃 , *S.I.* 瓦維洛娃

Фотография справа на этом слайде – это портрет академика Сергея Ивановича Вавилова, Президента Академии наук СССР, изучавшего не только квантовую природу света, но и физиологию зрения.

Из независимо и в разные годы выполнявшихся физиками Харитоном и Вавиловым работ следовал вывод, что палочка сетчатка глаза человека способна отвечать физиологическим сигналом всего на один поглощённый квант света.

В настоящее время экспериментально определенный порог световой чувствительности глаза составляет $4 \div 7 \bullet 10^{-10}$ эрг/с. Речь идет о минимальном потоке световой энергии от точечного источника, который падает на роговицу глаза и воспринимается мозгом как вспышка света. В пересчете для длины волны 507 нм (максимум кривой видности палочкового зрения) такая пороговая энергия соответствует 50÷150 квантам. Около половины этой энергии на пути к сетчатке теряется в оптических средах глаза, главным образом за счет отражения от роговицы и поглощения в хрусталике и стекловидном теле. Таким образом, из доходящих до сетчатки 25÷75 квантов собственно фоторецепторными (зрительными) клетками эффективно поглощается всего 5÷15 световых квантов. Остальные, так называемые “лишние” кванты, проходят сквозь сетчатку и поглощаются лежащим за ней однослойным чёрным пигментным эпителием.

В 1942 году физиолог С. Хехт и соавторы публикуют работу, вывод из которой об одном кванте для одной палочки уже входит во все руководства и учебники [5].

Итак, зрительная клетка сетчатки глаза – палочка способна детектировать один поглощенный квант света. Иными словами, в ответ на поглощение палочкой всего одного кванта света в ней возникает физиологический сигнал, который затем передаётся следующим нервным клеткам сетчатки, обрабатывается и поступает в мозг.

Во избежание недоразумений следует подчеркнуть, что поглощения одного кванта одной палочкой совершенно недостаточно для субъективного восприятия (ощущения) слабой световой вспышки. Для этого необходима суммация сигналов по крайней мере от 5-15 возбужденных светом палочек, причем в течение вполне определенного короткого промежутка времени (подробнее см. [6,7]).

Этот фундаментальный вывод дал толчок к современной расшифровке молекулярного механизма зрения. Речь идёт о молекулярном механизме фототрансдукции – поглощении молекулой зрительного пигмента родопсина кванта света, т.е. первичного светового сигнала, последующего усиления (размножения) этого сигнала и возникновении, в конечном счёте, в зрительной (фоторецепторной) клетке электрического фоторецепторного сигнала.

Огромную роль в развитии физиологии зрения в России сыграл академик Леон Абгарович Орбели – любимый и верный ученик И.П. Павлова. Его фотография на рис.2. Именно физиологией зрения он начал заниматься у Павлова, и сохранил к этой проблеме интерес до конца жизни.

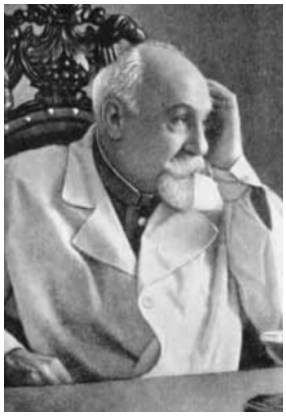


*Рис.2. Академик Леон Абгарович Орбели*

*Fig. 2. Academician Leon Abgarovich Orbeli*

*圖2.莱昂·阿布加羅維奇·奧爾貝利院士*

С Сергеем Ивановичем Вавиловым у него были самые дружеские отношения и тесное сотрудничество. В те же тридцатые годы Л.А. Орбели и его многочисленные ученик и сотрудники в разных лабораториях активнейшим образом занимаются физиологией зрения, как тогда называлось – физиологической оптикой. С.И. Вавилов и Л.А. Орбели – оба активные организаторы науки – созывают в 1934 г в Ленинграде Первую конференция по физиологической оптике. Она в тот момент стала необходимой для консолидации усилий специалистов самого различного профиля, занимавшихся зрением. А в 1940 г. они создают специальный печатный орган – серию сборников под названием «Проблемы физиологической оптики». Таким образом, начиная с тридцатых годов, в СССР создается и развивается сильная научная школа по физиологии зрения, которая сохранилась и существует до сих пор. Благодаря этому и современные молекулярно-физиологические исследования первичных процессов зрения, в

том числе механизмов фототрансдукции, ведутся у нас на хорошем, позволительно сказать, мировом уровне.

***Механизм фототрансдукции: место действия***

Процесс преобразования первичного светового сигнала в электрический (фоторецепторный) сигнала зрительной клетки (механизм фототрансдукции) происходит не во всей зрительной клетке, а в её специализированной части – наружном сегменте. На рис. 3 представлены – схема глаза, на которой обозначена сетчатка, выстилающая дно глазного бокала. Далее, в середине – схема слоёв сетчатки, на которой видны слой зрительных клеток – светочувствительных палочек и колбочек, а за ними нервные слои сетчатки, где и происходит сложнейшая обработка зрительной информации, прежде, чем она по примерно 1 миллиону 200 тысячам волокон зрительного нерва поступит в мозг. И, наконец, справа – это сами палочки, отвечающие за сумеречное зрение, и колбочки, отвечающие за дневное, цветовой зрение. Красным цветом выделены наружные сегменты палочек и колбочек, в которых поглощённый квантов света инициирует образование биоэлектрического зрительного (фоторецепторного) сигнала.




*Рис.3. Схема глаза, Fig.3. Eye diagram,* 圖*3.* 眼圖

На следующей фотографии (Рис. 4) Сантьяго Рамон-и-Кахаль — великий испанский гистолог, один из основоположников современной нейробиологии, Лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине за 1906 год.

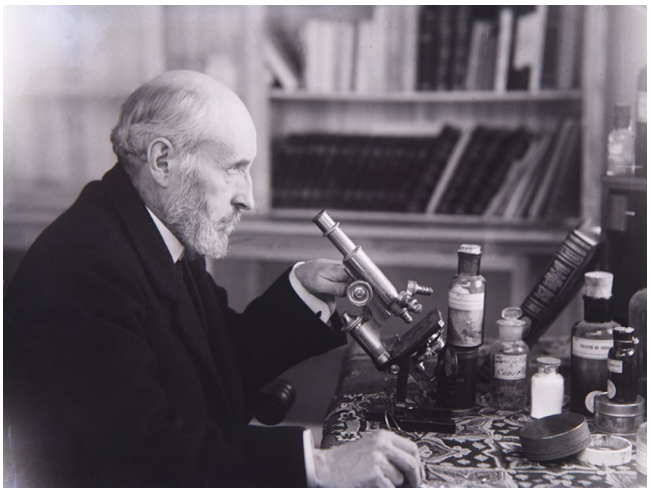


*Рис.4. Сантьяго Рамон-и-Кахаль*
*Fig.4. S. Ramon y Cajal*
圖*4.*聖拉蒙·卡哈爾

«Сетчатка – как он писал ещё в конце XIX века – «это часть центральной нервной системы, периферическая часть мозга» [8].

Когда он это говорил и писал, то сам не подозревал, насколько был прав. Как мы сейчас понимаем, в сетчатке, в её нервных слоях, совершается огромный объём переработки зрительной информации, многие детали обработки которой нам всё ещё остаются не ясными.

На следующем рисунке 5 представлены весьма схематично основные клеточные элементы сетчатки и их синаптические связи. Колбочки, а их три спектральных типа – сине-, зелёно- и красночувствительные, передают информацию в первом фоторецепторном синапсе напрямую следующей нервной клетке сетчатки, т.н. биполярной клетке. В свою очередь биполярная клетка также напрямую передаёт информацию во втором синапсе (второе переключение) т.н. ганглиозной клетке. А та, по своему длинному отростку – аксону передаёт в виде последовательности нервных импульсов информацию в мозг, а именно в его затылочные зрительные центры. Поэтому дневное колбочковое зрение – это так называемое центральное, фотопическое, цветное и наиболее ясное зрение, а если говорить в технических терминах, то оно высоко разрешённое. Проще говоря, острота зрения колбочкового зрения высокое. Что касается палочек, расположенных по периферии сетчатки, то, как говорится, «ночью все кошки серы». Зато палочковое зрение высоко чувствительное. Чтобы увидеть мерцающую звёздочку на ночном небе, надо на него смотреть краешком глаза. Это прекрасно знали астрономы древности. Именно палочка, как мы уже говорили, способна детектировать всего один поглощённый квант света одной из $10^9$ светочувствительных молекул зрительного пигмента родопсина в её наружном сегменте. Далее, за палочками и колбочками следуют нервные клетки – биполярные, горизонтальные, амакриновые и ганглиозные. На самом деле, функциональных типов этих клеток довольно много. Биполярные и горизонтальные клетки получают и обрабатывают информацию от фоторецепторных клеток.

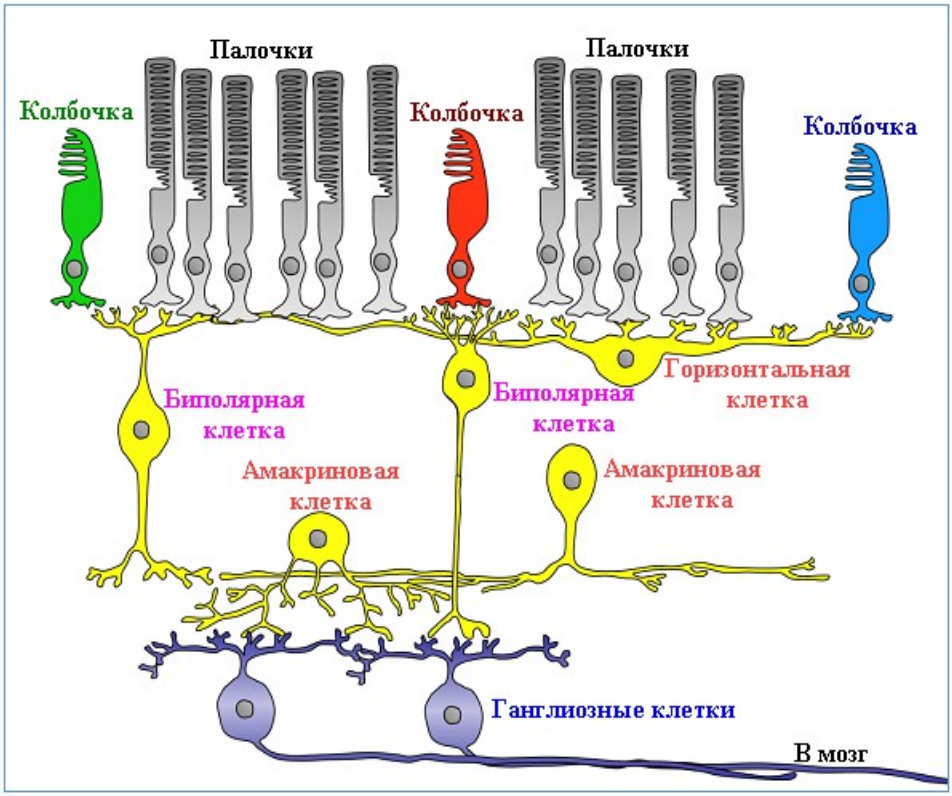



*Рис.5. Основные клетки сетчатки*
*Fig.5. Basic cells of the retina*
圖*5*。視網膜的基本細胞

Информацию они получают, как это не удивительно, в виде замедления или даже прекращения на ярком свету выделения в синаптическую щель химического вещества – нейромедиатора, а именно глутамата. Функция горизонтальных клеток – обработка информации от фоторецепторов по горизонтали, а функция биполярных – синаптическая передача этой уже обработанной в первом фоторецепторном синапсе информации следующему слою нервных клеток – амакриновым и ганглиозным. Второй синаптический слой сетчатки гораздо шире, чем первый. И снова – функция амакриновых клеток сложнейшая обработка информации, получаемой от биполяров, по горизонтали а функция многих функциональных типов ганглиозных – передача в виде последовательности нервных импульсов информации по их длинным открыткам-аксонам в мозг. Что важно: импульсная активность возникает в сетчатке только в её ганглиозных клетках. Во всех остальных нервных импостов не возникает: фоторецепторы отвечают на свет медленной электрической активностью, в биполярных, горизонтальных и большинства амакриновых клеток тоже медленная электрическая активность.

В физиологии сетчатки существует такое понятие – «рецептивное поле». Речь идёт о том, что, одна клетка собирает информацию от множества синаптически связанных с ней клеток. Например, 1 биполярная клетка собирает фоторецепторные сигналы, по крайней мере, от 15-30 палочек (Рис. 6). Поскольку абсолютный порог человеческого зрения – 10-15 квантов, падающих на всю сетчатку, то вероятность попадания 2-х или более квантов на одну палочку ничтожна.

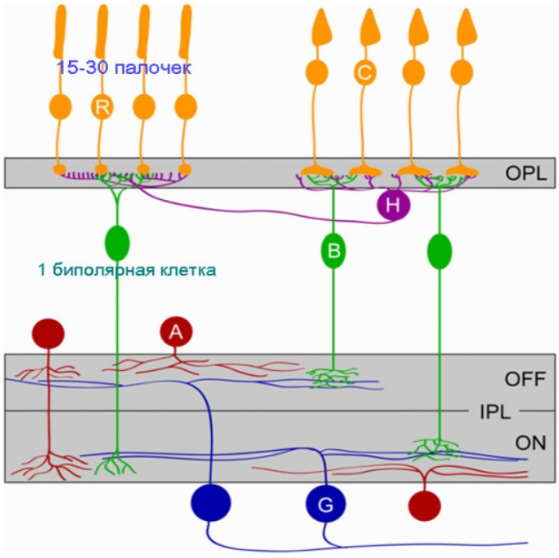



*Рис.6. Сигналы на биполярной клетке*
*Fig.6. Signals on Bipolar Cell*
圖*6*。雙極電池上的訊號

А это значит, что только в одной из 15-30 палочек в рецептивном поле биполярной клетки возникает на поглощение 1 кванта света сигнал, который затем синаптически передаётся и обрабатывается биполярной клеткой, а затем посылается дальше, во второй синаптический слой. Именно обработка этого сигнала в сложно устроенном первом, фоторецепторной синапсе, куда приходят отростки и биполярных, и горизонтальных клеток, позволяет детектировать и передавать сигнал от этой, поглотившей свет палочки следующим нервным элементам сетчатки.

Теперь о том, как же возникает этот сигнал в зрительной клетке? Процесс его возникновения, то есть преобразования светового сигнала в электрический (фоторецепторный), происходящий в её специализированном наружном сегменте, называется фототрансдукцией. На рис. 7 слева схематически наглядно представлен этот процесс в палочке. Квант света поглощается одной из $10^9$ молекул родопсина, заполняющих наружный сегмент. В результате поглощения кванта света этой одной молекулой на плазматические мембраны наружного сегмента изменяется (не возникает, а именно изменяется) электрический потенциал. Это изменение (гиперполяризация мембраны) и есть тот самый «возникший» фоторецепторный электрический сигнал, который довольно медленно (не как нервный импульс) распространяется до пресинаптического окончания и регулирует (уменьшает) скорость выделения нейромедиатора в синаптическую щель. Таким образом, первичный зрительный (фоторецепторный) сигнал химическим путём передаётся в первом фоторецепторном синапсе сетчатки дальше – биполярным и горизонтальным нервным клеткам. Этот электрический сигнал (фоторецепторный потенциал) в ответ на поглощение 1 кванта может быть впрямую отведён (зарегистрирован)

от палочки, как это и показано на правой части рисунка. Он оказался достаточно велик: около 3% от максимального ответа палочки на яркую, насыщающую вспышку света.

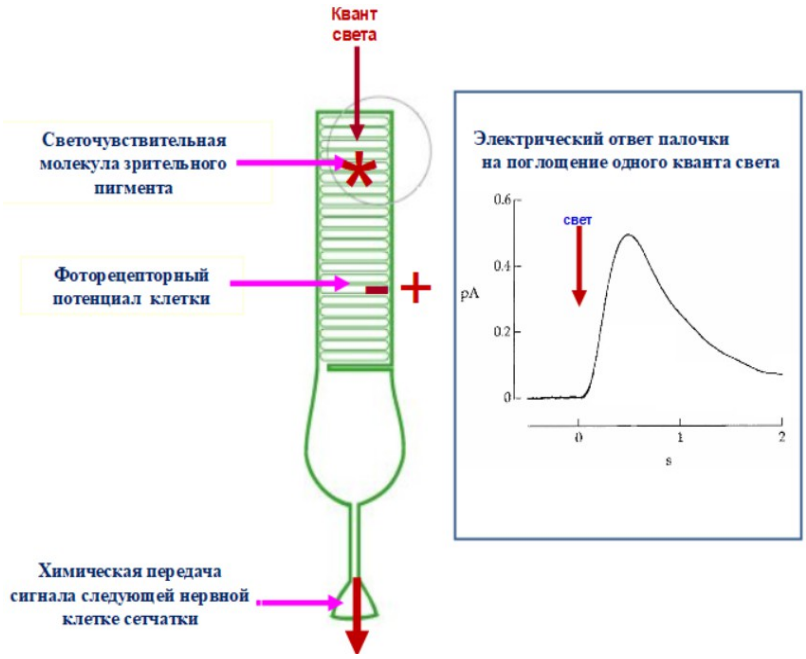



*Рис.7. Фототрансдукция в палочке*
*Fig.7. Phototransduction in a rod*
圖7。棒中的光轉導

Это процесс от кванта света до фоторецепторного сигнала - механизм фототрансдукции в настоящее время достаточно хорошо описан. Суть его в ферментативном усилении почти в сто тысяч раз. Начинается он с уникальной по скорости и эффективности фотохимической реакции в молекуле родопсина.

На рис. 8 слева представлена схематически фоторецепторная клетка палочка. Её наружный сегмент содержит стопку дисков, как бы наложенных друг на друга и строго ориентированных. В палочке сетчатки человека их около одной-двух тысяч, в палочке быка – дневного животного их около двухсот-трёхсот, а в палочке глубоководной рыбы, обитающей почти в полной темноте, их может быть более двадцати тысяч. Идея эволюции органов зрения в том, чтобы «поймать» квант света. Чем света меньше, тем нужно больше дисков и, соответственно, молекул родопсина в наружном сегменте, чтобы «поймать» квант и запустить процесс фототрансдукции. Каждый диск – это две биологические мембраны, «слепленные» по краям; внутри диска имеется узкое внутридисковое пространство. В мембрану диска «вставлены» светочувствительные молекулы родопсина, при этом плотность этих молекул в диске чрезвычайно высока. При этом в жидкой как оливковое масло фоторецепторной мембране молекулы родопсина находится в динамическом

мономерно-димерном состояниях. Ниже на этом рисунке представлена сама молекула родопсина, «вставленная» в билипидную мембрану.

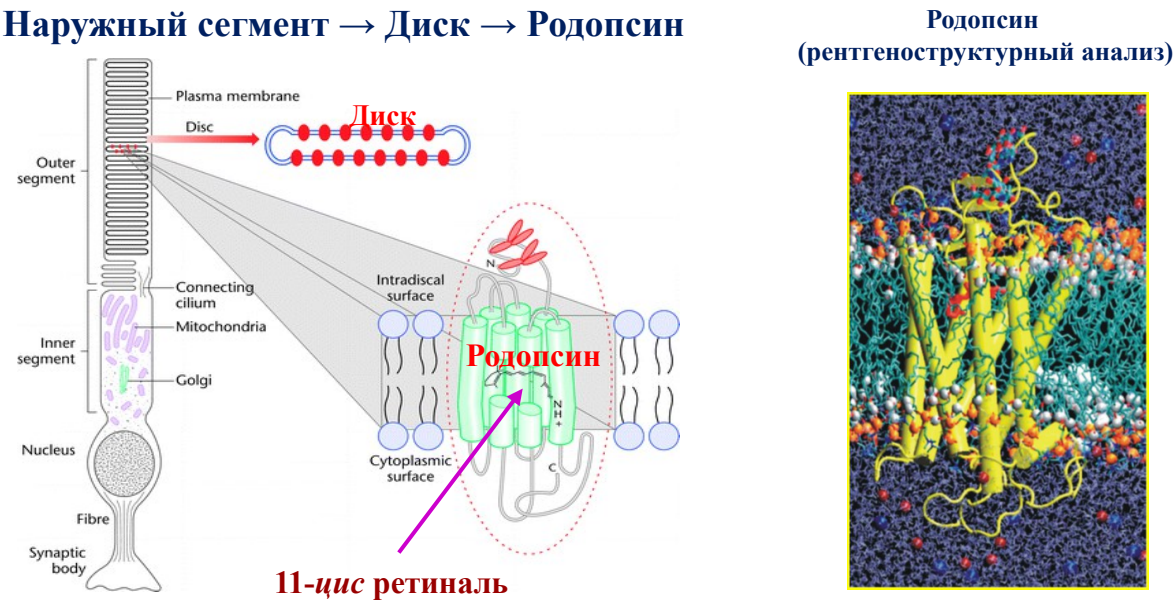



*Рис.8. Фоторецепторная клетка - палочка (слева), рентгено-структурная картина родопсина (справа)*
*Fig.8. Photoreceptor cell - rod (on left), X-ray structural picture of rhodopsin(on right)*
圖*8*。感光細胞-桿狀細胞*(*左邊*)*,* 視紫質的*X* 射線結構圖 ( 在右邊 )

Молекула эта состоит из большей белковой части и совсем небольшой хромофорной части – молекулы альдегида витамина А (ретиналя), окрашивающий всю молекулы в розовый цвет.

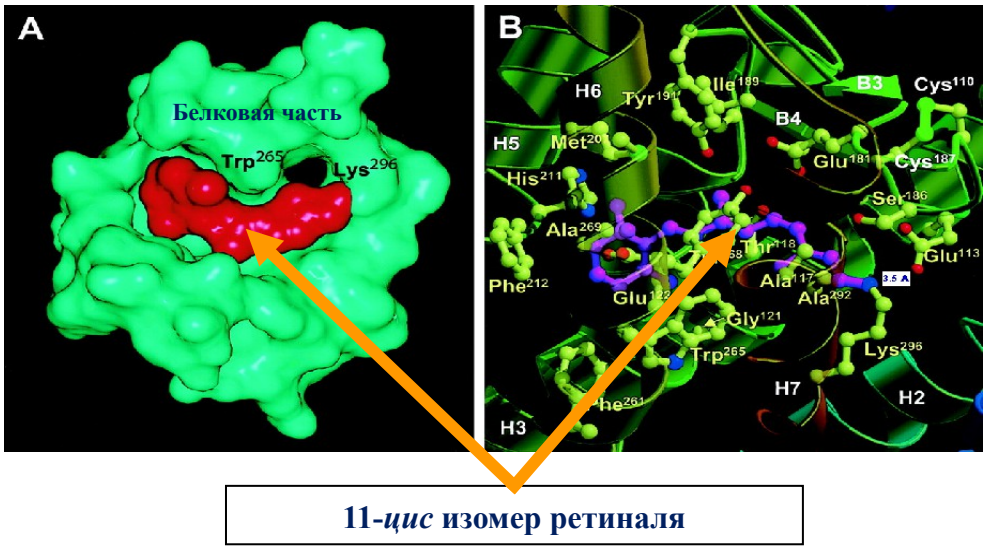



*Рис.9. Поперечный срез молекулы родопсина*
*Fig.9. Cross section of a rhodopsin molecule*
圖*9*。視紫質分子的橫切面

Причём, что интересно и важно, ретиналь, в принципе, может находится в 16-ти изомерных формах. Но уже на самых ранних стадиях эволюции животного мира в качестве хромофорной части (хромофорной группы) всех зрительных пигментов был «выбран» только один изомер, а именно 11-*цис* изомер ретиналя. И тому сейчас есть физико-химические объяснения. 11-*цис* изомер ретиналя находится внутри белковой части, и прочно связан с белком ковалентной связью. А справа на рис. 8 представлена реальная, современная рентгено-структурная картина родопсина, его белковой части. Видно, что белок действительно «вставлен» в мембраны, что его полипептидная цепи семь раз пронизывает мембрану. Причём, как выяснилось, функционально важно, что каждый из внутримембранных участков этой цепи («тяжи») имеет свой угол наклона относительно плоскости мембраны.

На следующем рис. 9 представлен поперечный срез молекулы. Это тоже результат рентгено-структурного анализа. Слева видно, что в белковую часть (зелёный цвет) погружён 11-*цис* ретиналь (красный цвет). А справа – рентгено-структурная картина 11-*цис* ретиналя (фиолетовый цвет), окружённого аминокислотными остатками в хромофорном центре белка и ковалентно связанного своим концом (альдегидной группой) с одним из аминокислотных остатков, а именно с амино-группой 296-ого лизина в седьмом «тяже» полипептидной цепи белковой части (опсина).

Остановимся теперь на этой уникальной по скорости и эффективности фотохимической реакции в молекуле родопсина, которая как триггер запускает процесс фототрансдукции, то есть зрительный акт. Эта реакция была открыта ещё в 1958 году в лаборатории будущего Лауреата Нобелевской премии Джорджа Уолда в Гарвардском университете. До сих пор исследование механизма этой реакции остаётся «горячей точкой» не только физиологии зрения, но и вообще современной фотохимии. Сам родопсин был открыт в 1876 г. Ференцем Боллем (Ferenz Boll), и назван им «зрительным веществом» (Sehestoff). Затем, затем в силу своего пурпурно-розового цвета, его переименовала в «зрительный пурпур», и только позже он стал называться родопсином от греческих слов: «*rhodo*» – розовый и «*opsis*» – видеть.

Суть открытия Ференца Болля было очень проста. Он собственными глазами наблюдал как извлечённая из глаза лягушки розовая сетчатка на свету обесцвечивалась – становилась желтоватой, а затем белёсой. Из этого, по существу, фотохимического наблюдения он заключил, что в зрительных клетках сетчатки находится какое-то светочувствительное вещество, обесцвечивание которого как-то связано с процессом зрения. Но то, что наблюдал Болль – это было уже последствие фотохимической реакции, это был распад родопсина, когда от его белковой части отрывался ретиналь. Вся последующая история исследования фотопревращения родопсина связана с прогрессом методов фотохимии, то есть с развитием методов регистрации кинетики

фотохимических реакций. С развитием методов лазерной спектроскопии реальность стало исследование этой реакций в фемтосекундной шкале времён (1 фемтосекунда равна $10^{-15}$секунды).

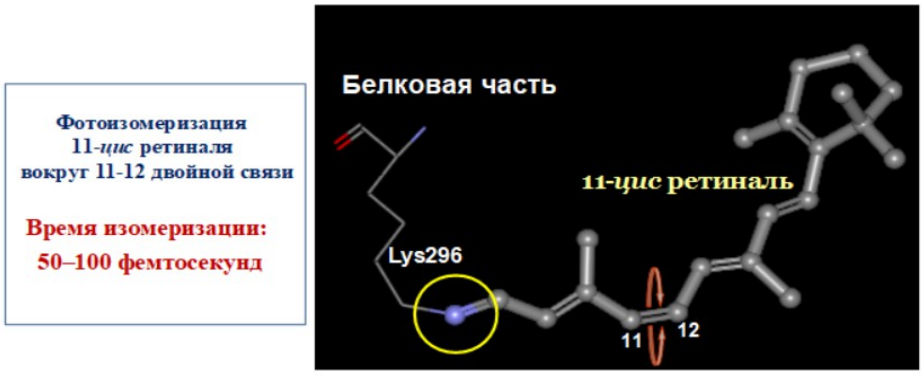



*Рис.10. Фотоизомеризация ретиналя*
*Fig.10. Photoisomerization of retinal*
圖*10*。視網膜光異構化

В лаборатории Джорджа Уолда в 1958 году показали, что единственной фотохимической реакцией в зрении является изомеризация 11-*цис* ретиналя вокруг 11-12 двойной связи с образованием его полностью-*транс* изомерной формы, то есть выпрямление изогнутой молекулы ретиналя (рис. 10). Иными словами, единственное, зачем нужен свет в зрении – это для фотоизомеризации хромофорной группы родопсина, и это происходит за 50-100 фемтосекунд. Все последующие конформационные перестройки белковой части молекулы и все последующие ферментативные реакции, обеспечивающие процесс фототрансдукции, ионные и электрические процессы в зрительной клетке, в свете уже не нуждаются.

Уолд и его сотрудники сами не подозревали, насколько она оказалась уникальной. Исследования последних 10-15 лет показали, что фотоизомеризация совершается за фемтосекундные времена и что эффективность этой реакции очень высока – квантовый выход равен 0.65, при этом 58% поглощенной энергии запасается в самой молекуле (подробнее о фотохимии родопсина см. [9], [10]).

На рис. 11 представлена современная схема этой реакции. Выяснилось, что изомеризация происходит через так называемое «коническое пересечение» поверхностей потенциальной энергии, которое связывает возбужденное состояние ретиналя (S1) с первым продуктом реакции, фородопсином (Фото), но теперь уже в основном состоянии (S0). Показано, что *цис-транс*-переход в родопсине совершается за фантастически короткое время – 50–100 фс, и что это – когерентная реакция. Становится очевидным, что высочайшая скорость и эффективность этого перехода обеспечивается взаимодействием хромофорной

группы с ее ближайшим белковым окружением в хромофорном центре молекулы родопсина. Механизм этого взаимодействия еще предстоит выяснить.

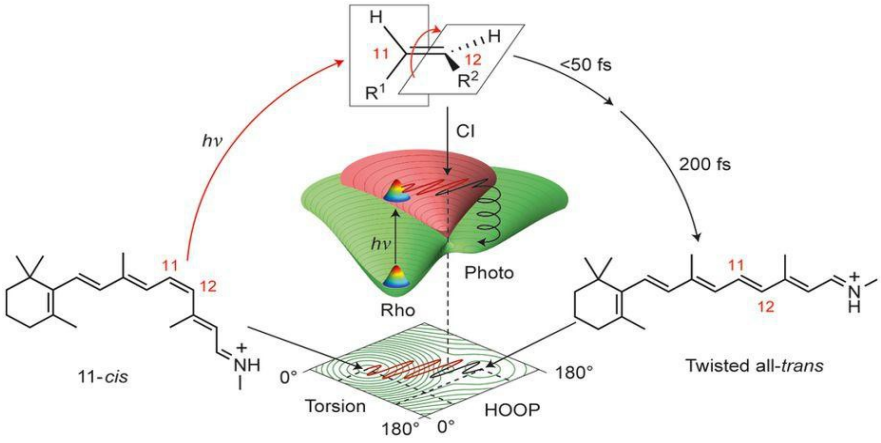



*Рис.11. Фотореакция родопсина*
*Fig.11. Rhodopsin photoreaction*
圖*11*。視紫質光反應

От взаимодействия ретиналя с его ближайшим белковым окружением в тесном хромофорном центре прямо зависят такие фундаментальные характеристики молекулы родопсина, как положение максимума спектра поглощения, время жизни возбужденного состояния, квантовый выход изомеризации и колебательная когерентность, наблюдаемые в первом фотопродукте реакции, т.н. фородопсине.

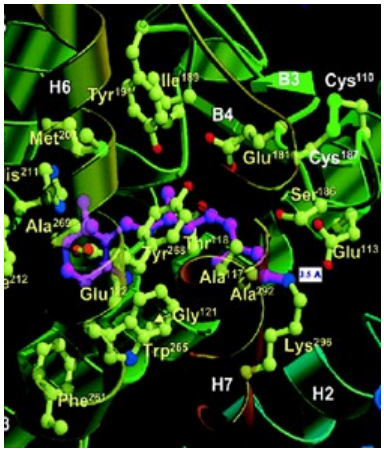



*Рис.12. Белковый катализ процесса фотоизомеризации*
*Fig.12. Protein catalysis of the photoisomerization process*
圖*12*。光異構化過程的蛋白質催化

На самом деле, приходит понимание того, что речь идёт о белковом катализе процесса фотоизомеризации, поскольку именно белковое окружение 11-*цис* ретиналя обеспечивает его сверхбыструю и эффективную фотоизомеризацию (см. рис 12).

Это белковое окружение в хромофорном центре опсина с 11-*цис* ретиналем как хромофорной группой молекулы родопсина создаёт самые различные взаимодействия – стерические, электростатические, водородные и гидрофобные.

Детали такого взаимодействия ещё предстоит выяснить.

Каков физиологический смысл фотоизомеризации в хромофорном центре опсина 11-*цис* ретиналя? Смысл в том, что изомеризация (выпрямление) изогнутой молекулы ретиналя приводит к конформационным перестройкам в

белковой части молекулы, то есть к незначительному изменению её формы. Как выяснилось, выпрямленный ретиналь раздвигает альфа-спиральные тяжи, причём раздвигает всего на несколько ангстрем (рис 13, слева). Но этого оказывается достаточным для того, чтобы в результате этого смещения тяжей на поверхности белковой части молекулы обнажились закрытые до того места связывания с другим белком, так называемым G-белком или трансдуцином(рис 13, справа).

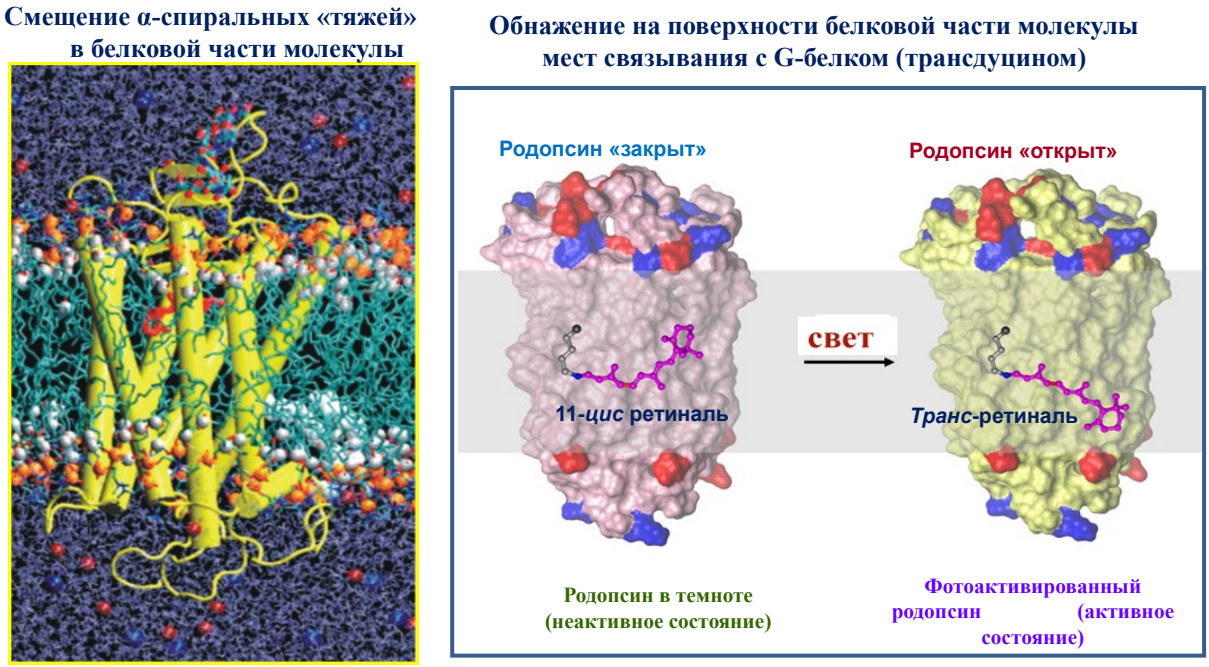



*Рис.13. Смещение α-спиральных «тяжей» (слева), обнажение мест связывания(справа)*
*Fig.13. Displacement of α-helical "strands" (on left), exposing binding sites (on right)*
圖*13*。*α*-螺旋「股」的位移*(*左邊*),* 暴露結合位點 ( 在右邊 )

Таким образом, фотоизомеризации ретиналя запускает конформационный переход молекулы родопсина в физиологически активное состояние. Суть этого физиологически активного состояния состоит в том, что запускается работа ферментативного каскада усиление светового сигнала, коим служит поглощение родопсином всего одного кванта видимого света.

На рис. 14 представлены основные четыре участника этого каскада усиления: родопсин, трансдуцин (G-белок), фосфодиэстераза и цГМФ-управляемый ионный канал. Стрелками показано, как активированный светом родопсин взаимодействует с трансдуцином (G-белком), тот взаимодействует с чрезвычайно активным ферментом – фосфодиэстеразой, которая, будучи активирована, с высокой скоростью разрушает растворённые в цитоплазме наружного сегмента фоторецепторной клетки маленькие, молекулы циклического гуанозинмонофосфата (цГМФ). Молекулы же цГМФ «управляют» встроенным в плазматическую (наружную) мембрану фоторецепторной клетки

т.н. цГМФ-управляемым ионным каналом.

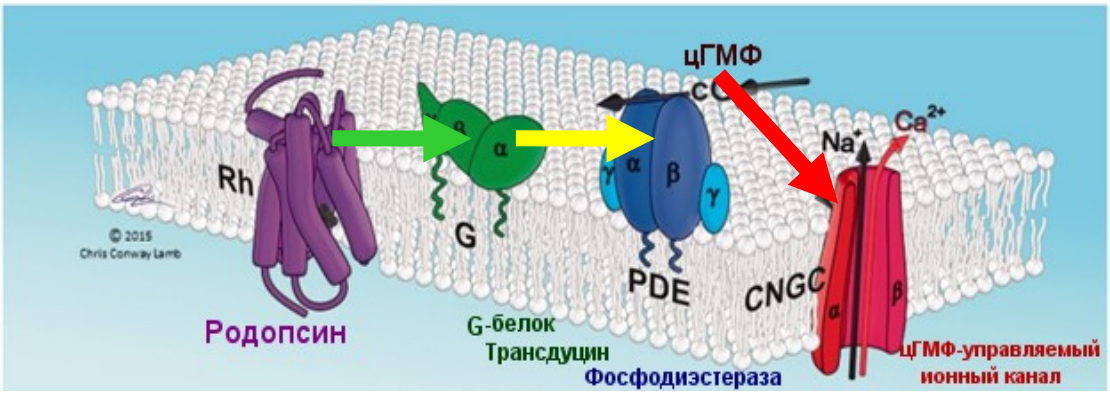



*Рис.14. Ферментативный каскад усиливает световой сигнал в более, чем в 10000 раз*
*Fig.14. The enzymatic cascade amplifies the light signal more than 10,000 times*
圖 *14*。酵素級聯將光訊號放大超過 *10,000* 倍

На следующем рис. 15 схематически показан этот каскад усиления, фактически цепная реакция. Видно, что 1 молекула родопсина, поглотившая квант света, успевает в активированном состоянии провзаимодействовать с почти 200 молекулами трансдуцина и их активировать.

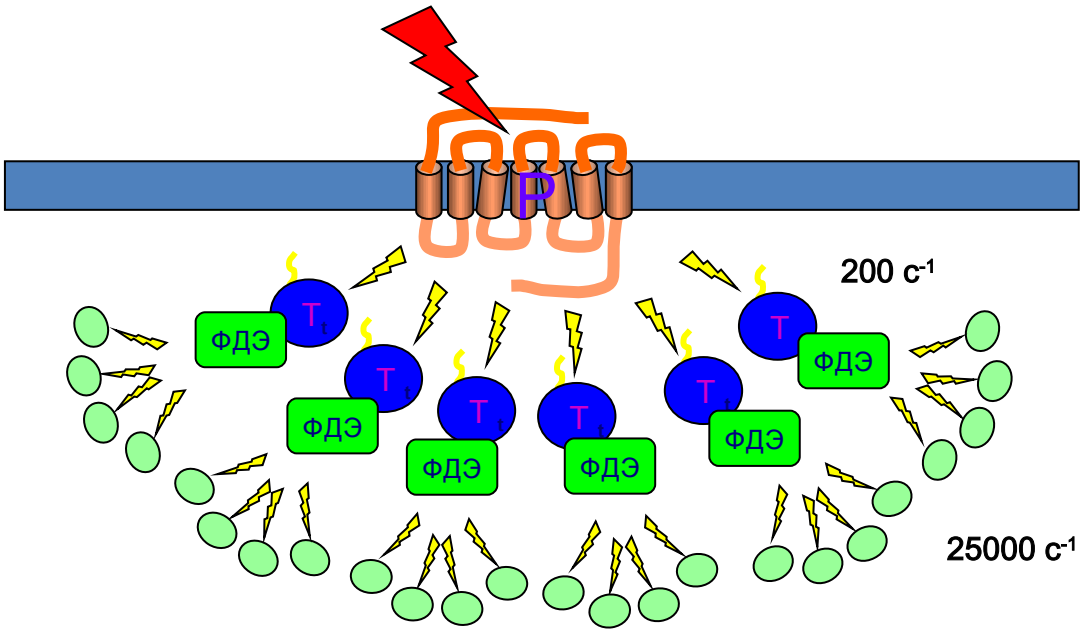



*Рис.15. Каскад усиления, Fig.15. Gain cascade, 圖 15。增益級聯*

Далее, каждая активированная молекула трансдуцина, в свою очередь, активирует молекулу фосфодиэстеразы. И затем каждая молекула фосфодиэстеразы с высочайшей скоростью разрушает множество молекул цГМФ, превращая их в нециклический гуанозинмонофосфат (ГМФ). Таков уникальный ферментативный каскад усиления (размножения) первичного

светового сигнала. Спрашивается, что же дальше? Зачем вся эта сложность? Ответ – чтобы в фоторецепторной клетке возник биоэлектрический фоторецепторный (зрительный) сигнал.

МЕМБРАНА ФОТОРЕЦЕПТОРНОГО ДИСКА

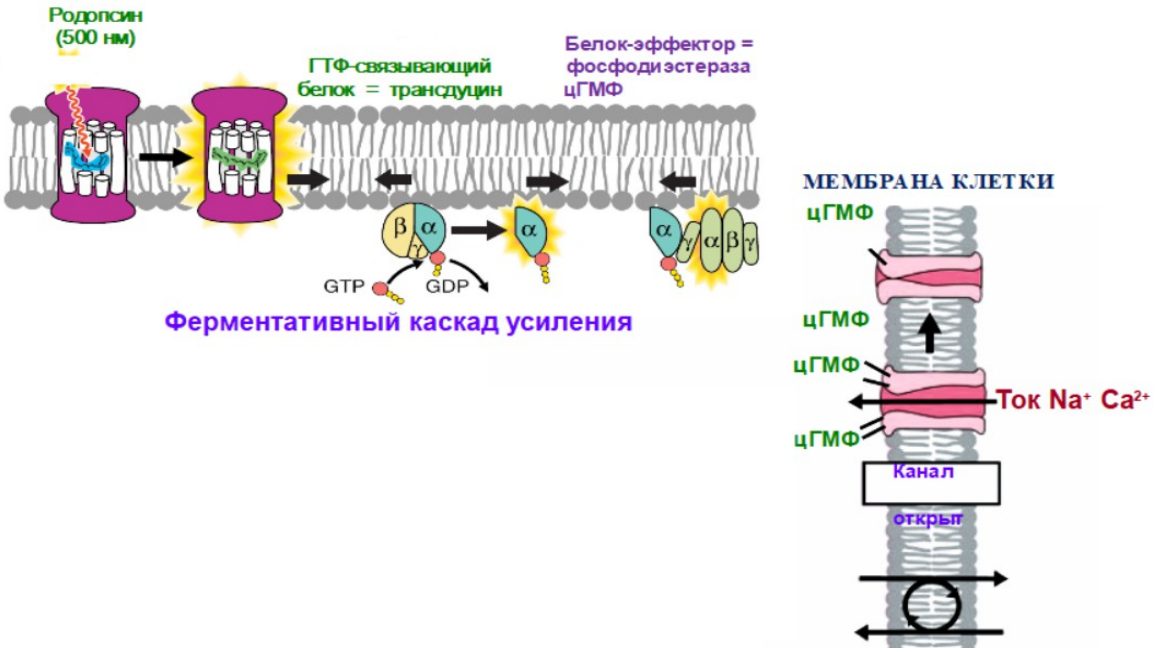



*Рис.16. Состояние мембран диска и клетки до поглощения кванта света*
*Fig.16. State of the disc and cell membranes before absorption of a light quantum*
*圖 16。吸收光量子之前椎間盤和細胞膜的狀態*

На рис. 16 представлена темновая ситуация, до поглощения кванта света. Показаны фоторецепторная мембрана диска, в которой локализованы все белки ферментативного каскада усиления, и наружная, плазматическая мембрана фоторецепторной (зрительной) клетки, в которую «встроен» *ц*ГМФ-управляемый ионный канал. В темноте родопсин, естественно, не активирован и ферментативный каскад не работает. При этом, концентрация молекул *ц*ГМФ в цитоплазме клетки большая, и несколько молекул *ц*ГМФ довольно прочно связаны с *ц*ГМФ-управляемым ионным каналом, и они «держат» канал открытым. Поэтому в темноте ионный ток ($Na^+$ $Ca^{2+}$) течёт внутрь клетки, и клетка, точнее плазматическая мембрана клетки, находится в деполяризованном состоянии. На рис. 17 представлена световая ситуация, когда молекула родопсина поглотила квант света. Тогда родопсин переходит в физиологически активированное состояние и запускает ферментативный каскад усиления. Следствием этого становится падение в цитоплазме концентрации свободного *ц*ГМФ. В результате этого молекулы *ц*ГМФ, до того связанные с *ц*ГМФ-управляемым ионным каналом, от него «отваливаются», и канал

«захлопывается» — переходит из открытого состояния в закрытое.

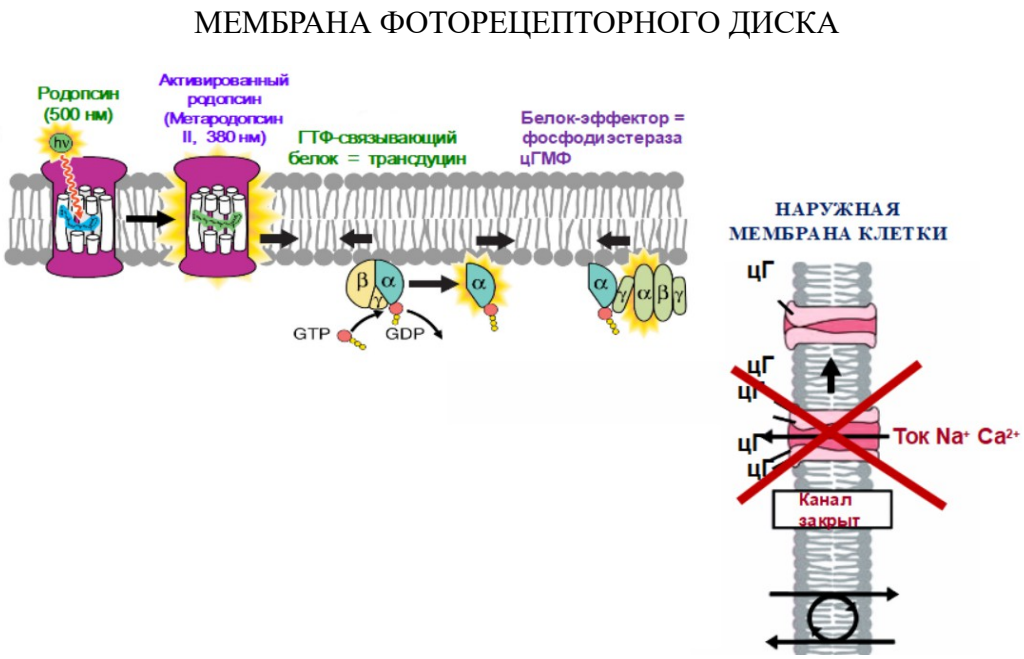



*Рис.17. Состояние мембран диска и клетки после поглощения кванта света*
*Fig.17. State of the disc and cell membranes after absorption of a light quantum*
*圖 17。吸收光量子後椎間盤和細胞膜的狀態*

Ток ионов $Na^+$ и $Ca^{2+}$ внутрь клетки при этом, естественно, прекращается, и клетка, точнее её плазматическая мембрана клетки, переходит в гиперполяризованное состояние — возникает гиперполяризационный электрический потенциал. Вот этот фоторецепторный, гиперполяризационный потенциал и есть тот самый биоэлектрический зрительный сигнал, который затем передаётся следующим нервным клеткам сетчатки.

На рис. 18 слева ещё раз показана упрощённая схема механизма фототрансдукции. Показано, как светочувствительная молекула зрительного пигмента родопсина поглощает квант света, как в результате этого, благодаря работе ферментативного каскада усиления, возникает фоторецепторный, гиперполяризационный потенциал, который распространяюсь до пресинаптического окончания изменяет скорость выделения из клетки химического вещества (нейромедиатора). Поскольку фоторецепторный, потенциал гиперполяризационный, то он вызывает не ускорение, а замедление скорости выделения нейромедиатора из пресинаптического окончания клетки в синаптическую щель, а при ярком свете и вовсе прекращение выделения нейромедиатора. Иными словами, как это не покажется удивительным, но в сетчатке глаза позвоночных животных и человека именно **замедление** скорости или **прекращение** выделения нейромедиатора из пресинаптического окончания

служит информационным сигналом о поглощении кванта света для следующих за фоторецепторами нервных клеток сетчатки.

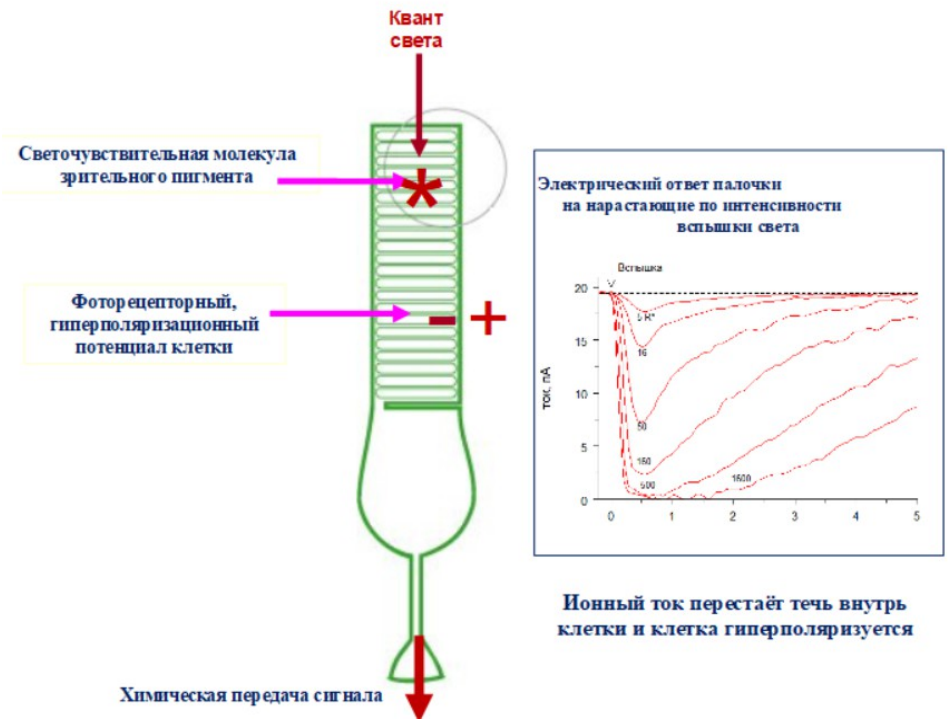



*Рис.18. Упрощённая схема механизма фототрансдукции*
*Fig.18. Simplified diagram of the phototransduction mechanism*
*圖 18。光轉導機制的簡化圖*

На рис. 18 справа показаны реальные записи электрических ответов палочки сетчатки на нарастающие по интенсивности вспышки света. Эти ответы являются следствием уменьшения скорости или полного прекращения ионного тока внутрь клетки, что приводит к её гиперполяризации.

Механизм синаптической передачи фоторецепторного сигнала от фоторецепторных клеток к следующим нервным клеткам сетчатки довольно сложен, а структура первого фоторецепторного синапса весьма необычна (см. рис. 19).

Многочисленные синаптические окончания палочек, их называют «сферулы», - это небольшие круглые выросты, 3-5 микрона в диаметре. На рис 19, слева представлена схема строения сферулы. Окончания колбочек, их называют «ножки колбочек», - крупные, конические, диаметром 8-10 микрон. Как в сферулах палочек, так и в ножках колбочек имеются плотные структуры, называемые синаптическими лентами, на которых и вокруг которых имеется множество синаптических везикул, содержащих молекулы нейромедиатора. В ножке колбочки имеется около 30 таких лент, в сферулах палочек имеются

только две синаптические ленты. К этим лентам в сферулу палочки вдаются два отростка (дендрита) биполярных клеток (т.н. палочковые биполяры) и два отростка (дендрита) горизонтальных клеток, как это показано на **рис 19,** слева.

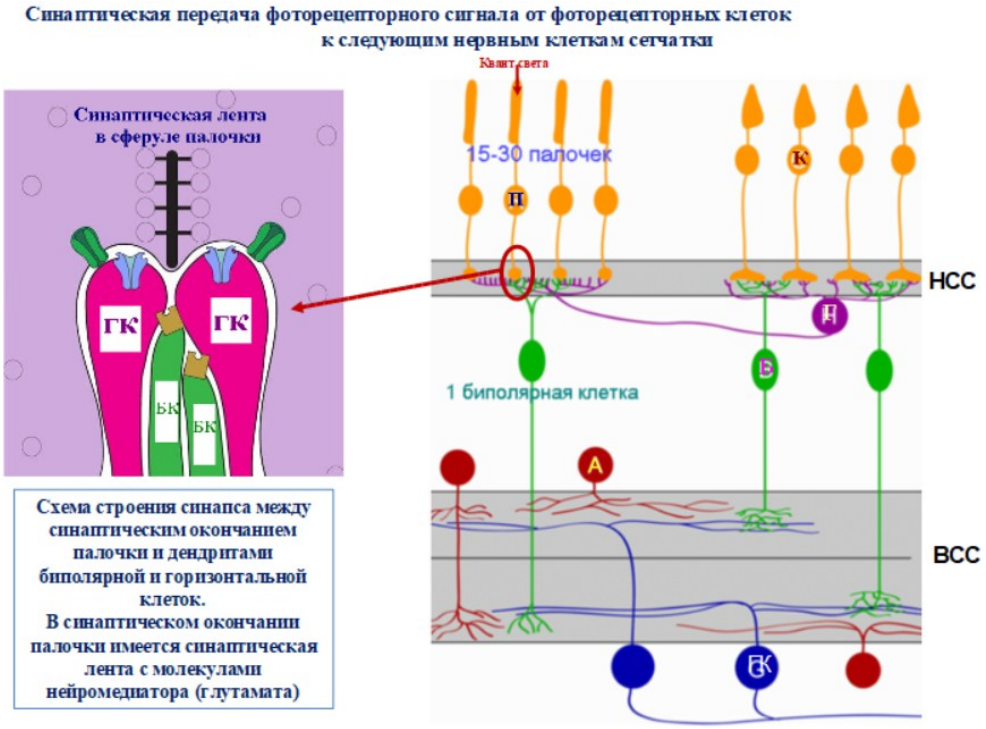



*Рис.19. Схема строения сферулы*
*Fig.19. Spherule structure diagram*
*圖 19。小球結構圖*

На этом же **рис. 19,** справа обозначена сама сетчатка и поглотившая в ней квант света палочка. Эта палочка одна из многих других, сходящихся к биполярной клетке, и именно она передаёт биполярной клетке сигнал о свете. В синаптические окончание (сферулу) этой палочки вдаются отростки – и биполярной, и горизонтальной клеток. В первом, фоторецепторном синапсе сигнал не только передаётся нервным клеткам, но и обрабатывается. Суммация таких сигналов от 5-15 биполярных клеток, получивших информацию о поглощении кванта света от «своих» палочек, доходит до ганглиозных клеток, которые и посылают её в виде последовательности нервных импульсов в мозг, и которая, в конечно счёте, субъективно воспринимается как еле заметная световая вспышка.

Поскольку в нашей лекции речь идёт о молекулярных механизмах генерации, передачи и первичной обработки фоторецепторного сигнала, то мы коротко рассмотрим как именно он передаётся и обрабатывается.

В наружном синаптическом слое сетчатки пресинаптические окончания

колбочек и палочек контактируют с различными типами биполярных и горизонтальных клеток.

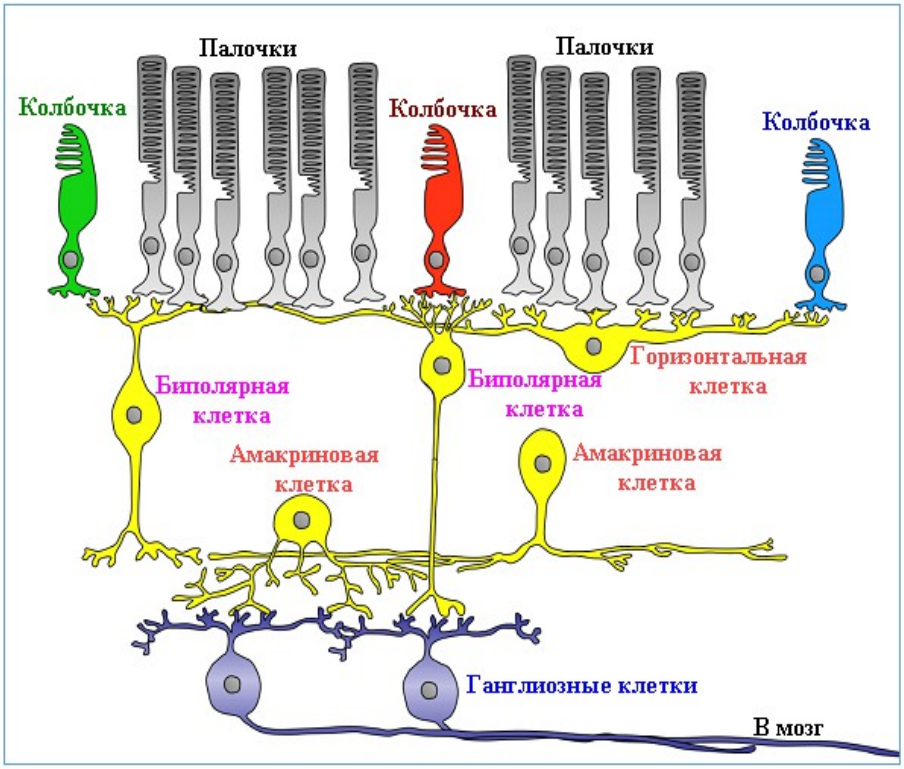



*Рис.20. Основные клеточные элементы сетчатки*
*Fig.20. Basic cellular elements of the retina*
*圖 20。視網膜的基本細胞成分*

На рис. 19 (справа) и на рис 20 представлены основные клеточные элементы сетчатки: фоторецепторные – палочки (П) и колбочки (К), и нервные – биполярные (Б), горизонтальные (Г), амакриновые (А) и ганглиозные (ГК) клетки. Представлены также их синаптические связи в довольно узком наружном синаптическом слое (НСС) и в гораздо более широком внутреннем синаптическом слое (ВСС). Важно, что уже в наружном синаптическом слое происходит формирование двух информационных потоков. Один из них предназначен для обнаружения объектов, которые светлее фона, а другой, которые темнее фона. Это т.н. ON- и OFF-потоки. Этот механизм, обеспечивает важнейшие зрительные функции – восприятие контраста, светлых и темных границ, проще говоря, предметное зрение. Вопрос в том, как именно это происходит, каков молекулярный механизм такого разделения информационных потоков уже на первом этапе передачи и обработки фоторецепторного сигнала. Механизм этот оказался весьма необычным.

Как мы уже говорили, в ответ на свет фоторецепторы позвоночных

животных и человека гиперполяризуются. Факт их гиперполяризации, а не деполяризации, присущей большинству сенсорных рецепторов других модальностей в ответ на стимуляцию, стал в середине 60-х годов сенсацией [11]. Примерно в то же годы мы с Ю.А. Трифоновым получили удивительные результаты, из которых следовало, что в темноте фоторецепторы деполяризованы и из их синаптических окончаний постоянно выделяется какой-то деполяризующий следующую нервную клетку нейромедиатор, а что на свету скорость его выделения уменьшается, при этом на ярком свету он прекращает выделяться вовсе [12]. Подробная статья Ю.А. Трифонова об этом открытии появилась на следующий год [13].

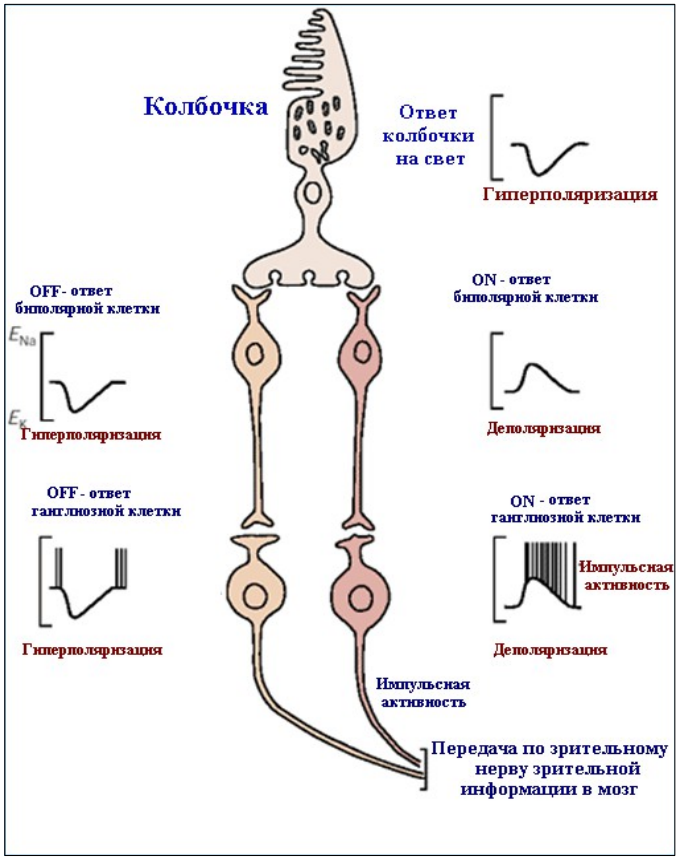



*Рис.21. Формирование ON- и OFF-путей обработки зрительной информации от одной и той же колбочки*
*Fig.21. Formation of ON- and OFF-pathways for processing visual information from the same cone*
*圖 21。形成 ON-和 OFF-路徑來處理來自同一視錐細胞的視覺訊息*

Но что важно: постсинаптические биполярные клетки отвечают на свет либо гиперполяризацией, либо деполяризацией. Гиперполяризующийся тип биполярных клеток называется OFF-биполярами, а деполяризующийся - ON-биполярами. Постсинаптические горизонтальные клетки всегда отвечают на

свет гиперполяризацией. И это понятно, поскольку в темноте на них постоянно действует деполяризующий нейромедиатор, и они, следовательно, находятся в деполяризованном состоянии, а прекращение выделения деполяризующего нейромедиатора приводит к их гиперполяризации. То же самое относится и к гиперполяризующимся на свет биполярным клеткам – OFF-биполярами. Но спрашивается, каким образом синаптически связанные с фоторецепторами биполяры отвечают на свет деполяризацией, как и почему они становятся ON-биполярами? Оказалось, что существование двух типов биполяров связано с тем, что в их постсинаптических мембранах находятся разные рецепторы (молекулы) для одного и того же нейромедиатора, а именно глутамата. У гиперполяризующегося типа биполяров это т.н. ионотропные глутаматные рецепторы, а у деполяризующегося типа биполяров т.н. метаботропные глутаматные рецепторы, которые инвертируют сигнал через каскад G-белков. Благодаря такой инверсии знака ответа на свет у ON-биполяров уже на самом раннем этапе обработки фоторецепторного сигнала формируется два информационных потока – OFF и ON-потоки во всей сетчатке и далее во всей зрительной системе. На рис 21 схематически и очень упрощённо показано формирование ON- и OFF-путей обработки зрительной информации от одной и той же колбочки. В самой колбочке в ответе на свет возникает медленный гиперполяризационный ответ. В контактирующем с ней OFF-биполяре (ионотропный глутаматный рецептор) также возникает медленный гиперполяризационный ответ. Так начинается OFF-канал или OFF-путь обработки зрительной информации. В контактирующей с той же колбочкой ON-биполяре ( метаботропный глутаматный рецептор) возникает медленный, но теперь уже инвертированный деполяризационный ответ. Так начинается ON-канал или ON-путь обработки зрительной информации. Далее, OFF- и ON-биполяры передают синаптически, но уже во внутреннем синаптическом слое, информацию ганглиозным клеткам. Среди почти трёх десятков функциональных типов ганглиозных клеток значительная доля принадлежит OFF- и ON-типам, которые формируются благодаря OFF- и ON-биполярам. В ганглиозных клетках OFF-типа в ответ на свет возникает гиперполяризация, приводящая к прекращению их спонтанной в темноте импульсации, т.е.к их физиологическому торможению. В ганглиозных же клетках ON –типа (ON – канала) в ответ на свет возникает деполяризация, приводящая к возникновению быстрой импульсной активности, т.е.к их физиологическому возбуждению. Поступающая в мозг по аксонам (зрительному нерву) всех типов ганглиозных клеток в мозг зрительная информация подвергается, естественно, дальнейшей сверхсложной обработке, завершающейся опознанием зрительного образа. Не вдаваясь сколько-нибудь подробно в процесс обрабоки зрительной информации на уровне сетчатки, коротко скажем только об основных функциях её нервных клеток. Как очевидно, биполярные и ганглиозные клетки составляют прямой

путь передачи зрительной информации от фоторецепторных клеток – палочек (сумеречное зрение) и колбочек (дневное, цветове зрение), в то время как горизонтальные и амакриновые обеспечивают обработку информации по горизонтали. Горизонтальные клетки отвечают за т.н. латеральное торможение, обеспечивающее формирование рецептивных полей биполярных клеток. Амакриновые клетки также обеспечивают латеральное торможение и формирование рецептивных полей ганглиозных клеток. Но они также ответственны за множество других зрительных функций, включая эффективную передачу сигнала с высоким соотношением сигнал/шум.

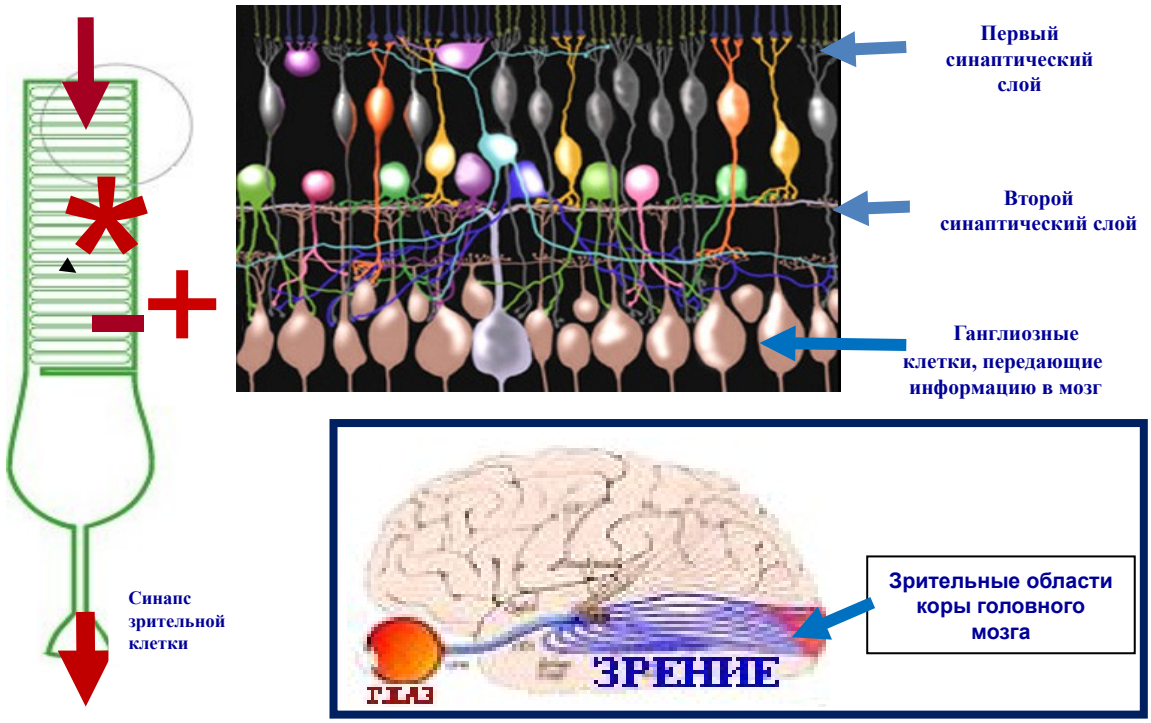



*Рис.22. Обработка информации в сетчатке глаза*
*Fig.22. Information processing in the retina*
*圖 22。視網膜的訊息處理*

В целом (см. рис 22), молекулярные механизмы возникновения, передачи и обработки фоторецепторного сигнала в первом, наружном синаптическом слое, механизмы его последующей сложнейшей обработки в нервных клетках и внутреннем синаптическом слое сетчатки, и уж, конечно, подробности сверхсложной обработки информации в высших мозговых центрах составляют суть и остаются предметом интереснейших и важнейших фундаментальных исследований зрительной системы в настоящее время и в будущем. Однако, механизмы обработки информации в сетчатке как «части мозга, вынесенной на периферию» (Рамон-и-Кахал), а тем более в зрительных и затем других центрах мозга, далеко выходят за рамки этой статьи, составляя огромную область

междисциплинарных исследований.

***Dear Colleagues!***

Our Congress is unique in its interdisciplinarity. And I think that the participation of physiologists in it is fundamentally important. It is important not in the sense that specific, especially recently acquired knowledge about the work of the brain, the work of sensory systems, the mechanisms of creation, processing and

transmission of information in living systems; finally, the mechanisms of memory and even consciousness can somehow be transferred to information technology, to the improvement of what we conventionally call "artificial intelligence." And it seems to me that the participation of physiologists is important in the other sense that this knowledge expands horizons and perhaps leads specialists in these same information technologies to new thoughts. As they say, "knowledge is power!" Therefore, a series of reports by physiologists at this Congress is natural and, for sure, can be interesting and useful for "information people", such as the report by Academician K.V. Anokhin about modern problems and approaches to the mechanisms of consciousness.

What I will talk about today concerns the molecular mechanisms of information creation in living systems, and specifically the creation of visual information in response to the absorption of light by the visual cells of the retina. Amazing advances have been made in this area of sensory physiology in recent decades. But before talking about the molecular basis, I must say a few words about the fundamental physiological basis of vision. From these physiological foundations arose the modern molecular basis for the creation of a visual signal, that is, visual information in a living system. I'll start with physicists and the threshold of absolute light sensitivity of the eye.

***Physics and vision***

Physicists have always been interested in the nature of vision. In the nineteenth and first half of the twentieth centuries, they made decisive contributions not only to the understanding of the optics of the eye (Johann Kepler \1611\ "The lens is a focusing lens"), to the theory of color vision (Thomas Young \1802\, J. Maxwell \ 1861\, Hermann Helmholtz \1856\), but also in determining the absolute light sensitivity of the visual system. The first and quite competent determination of the threshold of light sensitivity of the human eye was made at the end of the 19th century by Samuel R. Lanley (1834 - 1906) - physicist, astronomer, inventor of the bolometer. Its value of the threshold of absolute light sensitivity - 3x10-9 erg or about 800 quanta incident on the cornea, turned out to be only an order of magnitude higher than modern values. Essentially, the next physicists who took an important step in this direction were Yu. B. Khariton and S.I. Vavilov.

Yu. B. Khariton - one of the “fathers” of the Soviet atomic bomb, having arrived in Cambridge in 1926 at the Cavindish Laboratory and having received from Ernst Roseford and J. Chadwick the classical problem of nuclear physics of that time - counting α-particles, he uses it to solve it human eye [1].

S.I. Vavilov and his collaborators in Leningrad in the 30s, at the State Optical Institute, were actively studying the quantum nature of light. Being keenly interested in the nature of vision and the history of the science of vision, S. I. Vavilov also carries out a series of works, from the results of which he determines the threshold of absolute light sensitivity of the human eye [2-4].

In the purely physical State Optical Institute, back in 1923, a special laboratory of eye optics was created. And when in 1931 this institute was headed by S.I. Vavilov, it was renamed the laboratory of physiological optics. S.I. Vavilov and his collaborators managed to establish both the quantum nature of light and experimentally measure the threshold sensitivity of the eye. These studies are rightfully considered classic in both physics and physiology.

On the first slide (Fig. No. 1 in the article) I show you a photograph (on the left) of academician Yuliy Borisovich Khariton (he is in the center), I am next to him, on the right is his teacher, academician Nikolai Nikolaevich Semyonov, Nobel Prize laureate, founder of the Institute of Chemical physicist, into which he accepted me and a group of employees back in 1969, and to the left of Khariton is Academician Yakov Borisovich Zeldovich, the second “father” of the Soviet atomic bomb, also the closest student of Nikolai Nikolaevich Semyonov. The photo on the right on this slide is a portrait of Academician Sergei Ivanovich Vavilov, President of the USSR Academy of Sciences, who studied not only the quantum nature of light, but also the physiology of vision.

From the work carried out independently and in different years by physicists Khariton and Vavilov, the conclusion followed that the rod retina of the human eye is capable of responding with a physiological signal to just one absorbed quantum of light.

Currently, the experimentally determined threshold of light sensitivity of the eye is 4÷7• 10-10 erg/s. We are talking about a minimal flow of light energy from a point source, which falls on the cornea of the eye and is perceived by the brain as a flash of light. In terms of a wavelength of 507 nm (maximum of the visibility curve of rod vision), this threshold energy corresponds to 50÷150 quanta. About half of this energy on its way to the retina is lost in the optical media of the eye, mainly due to reflection from the cornea and absorption in the lens and vitreous body. Thus, out of 25÷75 quanta reaching the retina, only 5÷15 light quanta are effectively absorbed by the photoreceptor (visual) cells themselves. The rest, the so-called “extra” quanta, pass through the retina and are absorbed by the underlying single-layer black pigment epithelium.

In 1942, physiologist S. Hecht and co-authors published a work, the conclusion

from which about one quantum for one rod is already included in all manuals and textbooks [5].

So, the visual cell of the retina, the rod, is capable of detecting one absorbed quantum of light. In other words, in response to the absorption of just one quantum of light by the rod, a physiological signal arises in it, which is then transmitted to the next nerve cells of the retina, processed and sent to the brain.

To avoid misunderstandings, it should be emphasized that the absorption of one quantum by one rod is completely insufficient for the subjective perception (feeling) of a weak light flash. This requires summation of signals from at least 5-15 rods excited by light, and within a very specific short period of time (for more details, see [6,7]).

This fundamental finding gave impetus to the modern deciphering of the molecular mechanism of vision. We are talking about the molecular mechanism of phototransduction - the absorption of a light quantum by the molecule of the visual pigment rhodopsin, i.e. the primary light signal, the subsequent amplification (reproduction) of this signal and the eventual emergence of an electrical photoreceptor signal in the visual (photoreceptor) cell.

Academician played a huge role in the development of visual physiology in Russia.

***Phototransduction mechanism: site of action***

The process of converting the primary light signal into an electrical (photoreceptor) signal of the visual cell (phototransduction mechanism) occurs not in the entire visual cell, but in its specialized part - the outer segment. In Fig. Figure 3 shows a diagram of the eye, which shows the retina lining the bottom of the optic cup. Further, in the middle, there is a diagram of the layers of the retina, which shows a layer of visual cells - light-sensitive rods and cones, and behind them the nerve layers of the retina, where the most complex processing of visual information occurs, before it arrives through approximately 1 million 200 thousand fibers of the optic nerve into the brain. And finally, on the right are the rods themselves, which are responsible for twilight vision, and the cones, which are responsible for daytime, color vision. The outer segments of rods and cones, in which the absorbed quantum of light initiates the formation of a bioelectric visual (photoreceptor) signal, are highlighted in red.

In the next photo (Fig. 4) Santiago Ramon y Cajal is a great Spanish histologist, one of the founders of modern neurobiology, Nobel Prize Laureate in Physiology or Medicine for 1906. “The retina – as he wrote at the end of the 19th century – “is part of the central nervous system, the peripheral part of the brain” [8].

When he said and wrote this, he himself did not suspect how right he was. As we now understand, a huge amount of processing of visual information takes place in the retina, in its neural layers, many details of the processing of which still remain

unclear to us.

The following Figure 5 shows very schematically the main cellular elements of the retina and their synaptic connections. Cones, and their three spectral types - blue-, green- and red-sensitive, transmit information at the first photoreceptor synapse directly to the next retinal nerve cell, the so-called. bipolar cell. In turn, the bipolar cell also directly transmits information at the second synapse (second switching), the so-called. ganglion cell. And it, along its long process, the axon, transmits information in the form of a sequence of nerve impulses to the brain, namely to its occipital visual centers. Therefore, daytime cone vision is the so-called central, photopic, color and clearest vision, and if we speak in technical terms, it is highly resolved. Simply put, the visual acuity of cone vision is high. As for the rods located on the periphery of the retina, as they say, “all cats are gray at night.” But rod vision is highly sensitive. To see a twinkling star in the night sky, you need to look at it out of the corner of your eye. Ancient astronomers knew this very well. It is the rod, as we have already said, that is capable of detecting just one absorbed quantum of light from one of the 109 light-sensitive molecules of the visual pigment rhodopsin in its outer segment. Next, the rods and cones are followed by nerve cells - bipolar, horizontal, amacrine and ganglion. In fact, there are quite a few functional types of these cells. Bipolar and horizontal cells receive and process information from photoreceptor cells. They receive information, not surprisingly, in the form of slowing down or even stopping in bright light the release of a chemical substance into the synaptic cleft - a neurotransmitter, namely glutamate. The function of horizontal cells is to process information from photoreceptors horizontally, and the function of bipolar cells is the synaptic transmission of this information already processed in the first photoreceptor synapse to the next layer of nerve cells - amacrine and ganglion cells. The second synaptic layer of the retina is much wider than the first. And again, the function of amacrine cells is the most complex processing of information received from bipolars horizontally, and the function of many functional types of ganglion cells is the transmission of information in the form of a sequence of nerve impulses along their long axon postcards to the brain. What is important: impulse activity occurs in the retina only in its ganglion cells. In all other nerve imposts, no nerve imposts arise: photoreceptors respond to light with slow electrical activity, and in bipolar, horizontal and most amacrine cells there is also slow electrical activity.

In retinal physiology there is such a concept - “receptive field”. The point is that one cell collects information from many synaptically connected cells. For example, 1 bipolar cell collects photoreceptor signals from at least 15-30 rods (Fig. 6). Since the absolute threshold of human vision is 10-15 quanta falling on the entire retina, the probability of 2 or more quanta hitting one rod is negligible. This means that only in one of the 15-30 rods in the receptive field of the bipolar cell does a signal arise upon the absorption of 1 quantum of light, which is then synaptically transmitted and processed by the bipolar cell, and then sent further to the second synaptic layer. It is

the processing of this signal

Now how does this signal arise in the visual cell? The process of its occurrence, that is, the conversion of a light signal into an electrical (photoreceptor) signal, occurring in its specialized outer segment, is called phototransduction. In Fig. 7 on the left is a schematic visual representation of this process in a stick. The light quantum is absorbed by one of the 109 rhodopsin molecules filling the outer segment. As a result of the absorption of a quantum of light by this one molecule on the plasma membranes of the outer segment, the electrical potential changes (does not arise, but rather changes). This change (hyperpolarization of the membrane) is the very "emerging" photoreceptor electrical signal, which rather slowly (not like a nerve impulse) spreads to the presynaptic ending and regulates (reduces) the rate of neurotransmitter release into the synaptic cleft. Thus, the primary visual (photoreceptor) signal is chemically transmitted in the first photoreceptor synapse of the retina further - to bipolar and horizontal nerve cells. This electrical signal (photoreceptor potential) in response to the absorption of 1 quantum can be directly removed (recorded) from the rod, as shown on the right side of the figure. It turned out to be quite large: about 3% of the maximum response of the wand to a bright, saturating flash of light. A physiological signal of this magnitude, spreading from the point of origin in the outer segment to the presynaptic ending, can confidently be transmitted to bipolar and horizontal nerve cells. In other words, the process of converting the energy of a single quantum of light absorbed by rhodopsin into a photoreceptor (visual) signal is very effective. This is a process from a quantum of light to a photoreceptor signal - the mechanism of phototransduction is now quite well described. Its essence is enzymatic enhancement almost a hundred thousand times. It begins with a photochemical reaction in the rhodopsin molecule that is unique in speed and efficiency. In Fig. 8 on the left is a schematic representation of a rod photoreceptor cell. Its outer segment contains a stack of disks, as if superimposed on each other and strictly oriented. In the rod of the human retina there are about one to two thousand of them, in the rod of a bull - a diurnal animal there are about two hundred to three hundred of them, and in the rod of a deep-sea fish that lives in almost complete darkness there can be more than twenty thousand of them. The idea of the evolution of the organs of vision is to "catch" a quantum of light. The less light there is, the more disks and, accordingly, rhodopsin molecules in the outer segment are needed to "catch" the quantum and start the phototransduction process. Each disk is two biological membranes, "fused" along the edges; There is a narrow intradiscal space inside the disk. Light-sensitive rhodopsin molecules are "inserted" into the disk membrane, and the density of these molecules in the disk is extremely high. At the same time, in the photoreceptor membrane of the rhodopsin molecule, which is liquid like olive oil, it is in a dynamic monomer-dimer state. Below in this figure is the rhodopsin molecule itself, "inserted" into the bilipid membrane. This molecule consists of a large protein part and a very small chromophore part - a molecule of

vitamin A aldehyde (retinal), which colors the entire molecule pink. Moreover, what is interesting and important is that retinal, in principle, can be found in 16 isomeric forms. But already at the very early stages of the evolution of the animal world, only one isomer was “selected” as the chromophore part (chromophoric group) of all visual pigments, namely the 11-cis isomer of retinal. And now there are physical and chemical explanations for this. The 11-cis isomer of retinal is located inside the protein part, and is tightly bound to the protein by a covalent bond. And on the right in Fig. Figure 8 shows a real, modern X-ray structural picture of rhodopsin, its protein part. It can be seen that the protein is indeed “inserted” into the membranes, that its polypeptide chain penetrates the membrane seven times. Moreover, as it turned out, it is functionally important that each of the intramembrane sections of this chain (“strands”) has its own angle of inclination relative to the plane of the membrane.

In the next fig. Figure 9 shows a cross section of the molecule. This is also the result of X-ray structural analysis. On the left you can see that 11-cis retinal (red) is immersed in the protein part (green). And on the right is an X-ray structural picture of 11-cis retinal (purple color), surrounded by amino acid residues in the chromophore center of the protein and covalently bound by its end (aldehyde group) to one of the amino acid residues, namely the amino group of the 296th lysine in the seventh “heavier” than the polypeptide chain of the protein part (opsin).

Let us now dwell on this photochemical reaction, unique in speed and efficiency, in the rhodopsin molecule, which, as a trigger, starts the process of phototransduction, that is, the visual act. This reaction was discovered back in 1958 in the laboratory of future Nobel Prize winner George Wald at Harvard University.

Until now, the study of the mechanism of this reaction remains a “hot spot” not only in the physiology of vision, but also in modern photochemistry in general. Rhodopsin itself was discovered in 1876 by Ferenz Boll, and he called it “visual substance” (Sehestoff). Then, due to its purple-pink color, it was renamed “visual purple”, and only later it began to be called rhodopsin from the Greek words: “rhodo” - pink and “opsis” - to see.

The essence of Ferenc Boll's discovery was very simple. He observed with his own eyes how the pink retina, removed from the eye of a frog, became discolored in the light - became yellowish, and then whitish. From this essentially photochemical observation, he concluded that the visual cells of the retina contained some kind of light-sensitive substance, the discoloration of which was somehow connected with the process of vision. But what Ball observed was already a consequence of a photochemical reaction, it was the disintegration of rhodopsin, when retinal came off from its protein part. The entire subsequent history of research into the phototransformation of rhodopsin is associated with the progress of photochemical methods, that is, with the development of methods for recording the kinetics of photochemical reactions. With the development of laser spectroscopy methods, the

study of these reactions on a femtosecond time scale (1 femtosecond equals 10-15 seconds) has become a reality.

George Wald's laboratory showed in 1958 that the only photochemical reaction in vision is the isomerization of 11-cis retinal around the 11-12 double bond to form its all-trans isomeric form, that is, straightening the bent retinal molecule (Fig. 10). In other words, the only reason light is needed in vision is for photoisomerization of the chromophore group of rhodopsin, and this occurs in 50-100 femtoseconds. All subsequent conformational rearrangements of the protein part of the molecule and all subsequent enzymatic reactions that ensure the process of phototransduction, ionic and electrical processes in the visual cell no longer require light.

Wald and his employees themselves did not suspect how unique it turned out to be. Research over the past 10-15 years has shown that photoisomerization occurs in femtosecond times and that the efficiency of this reaction is very high - the quantum yield is 0.65, while 58% of the absorbed energy is stored in the molecule itself (for more information on the photochemistry of rhodopsin, see [9], [10] ].

In Fig. Figure 11 shows a modern scheme of this reaction. It turned out that isomerization occurs through the so-called “conical intersection” of potential energy surfaces, which connects the excited state of retinal (S1) with the first reaction product, photorhodopsin (Photo), but now in the ground state (S0). It has been shown that the cis-trans transition in rhodopsin occurs in a fantastically short time - 50-100 fs, and that this is a coherent reaction. It becomes obvious that the highest speed and efficiency of this transition is ensured by the interaction of the chromophore group with its immediate protein environment in the chromophore center of the rhodopsin molecule. The mechanism of this interaction remains to be elucidated.

The interaction of retinal with its immediate protein environment in a close chromophore center directly determines such fundamental characteristics of the rhodopsin molecule as the position of the maximum of the absorption spectrum, the lifetime of the excited state, the quantum yield of isomerization and vibrational coherence observed in the first photoproduct of the reaction, the so-called. photorhodopsin.

In fact, it becomes clear that we are talking about protein catalysis of the photoisomerization process, since it is the protein environment of 11-cis retinal that ensures its ultra-fast and efficient photoisomerization (see Fig. 12). This protein environment is in the chromophore center of opsin with 11-cis retinal as The chromophore group of the rhodopsin molecule creates a variety of interactions - steric, electrostatic, hydrogen and hydrophobic. The details of such interaction remain to be determined.

What is the physiological meaning of photoisomerization in the chromophore center of the opsin 11-cis retinal? The point is that isomerization (straightening) of a curved retinal molecule leads to conformational rearrangements in the protein part of the molecule, that is, to a slight change in its shape. As it turned out, straightened

retinal pushes apart the alpha-helical cords, and pushes them apart by only a few angstroms (Figure 13, left). But this turns out to be sufficient so that, as a result of this displacement of the strands on the surface of the protein part of the molecule, previously closed binding sites with another protein, the so-called G-protein or transducin, are exposed (Figure 13, right). Thus, photoisomerization of retinal triggers a conformational transition of the rhodopsin molecule into a physiologically active state. The essence of this physiologically active state is that the enzymatic cascade is triggered to amplify the light signal, which is the absorption of just one quantum of visible light by rhodopsin.

In Fig. Figure 14 shows the main four participants in this amplification cascade: rhodopsin, transducin (G protein), phosphodiesterase, and cGMP-gated ion channel. The arrows show how light-activated rhodopsin interacts with transducin (G-protein), which interacts with an extremely active enzyme - phosphodiesterase, which, when activated, quickly destroys small molecules of cyclic guanosine monophosphate (cGMP) dissolved in the cytoplasm of the outer segment of the photoreceptor cell. The cGMP molecules “control” the so-called plasmatic (outer) membrane of the photoreceptor cell. cGMP-gated ion channel. In the next fig. Figure 15 schematically shows this amplification stage, in fact a chain reaction. It can be seen that 1 molecule of rhodopsin, having absorbed a quantum of light, manages to interact in the activated state with almost 200 molecules of transducin and activate them. Further, each activated transducin molecule, in turn, activates a phosphodiesterase molecule. And then each phosphodiesterase molecule breaks down many cGMP molecules at high speed, converting them into non-cyclic guanosine monophosphate (GMP). This is a unique enzymatic cascade of amplification (reproduction) of the primary light signal. The question is, what's next? Why all this complexity? The answer is for a bioelectric photoreceptor (visual) signal to arise in the photoreceptor cell.

In Fig. Figure 16 shows the dark situation, before the absorption of a light quantum. Shown are the photoreceptor membrane of the disc, in which all the proteins of the enzymatic amplification cascade are localized, and the outer, plasma membrane of the photoreceptor (visual) cell, into which the cGMP-gated ion channel is “built-in”. In the dark, rhodopsin is naturally not activated and the enzymatic cascade does not work. At the same time, the concentration of cGMP molecules in the cell cytoplasm is large, and several cGMP molecules are quite tightly bound to the cGMP-gated ion channel, and they “keep” the channel open. Therefore, in the dark, an ionic current (Na+ Ca2+) flows into the cell, and the cell, or more precisely the plasma membrane of the cell, is in a depolarized state. In Fig. Figure 17 shows a light situation when a rhodopsin molecule has absorbed a light quantum. Rhodopsin then enters a physiologically activated state and triggers an enzymatic amplification cascade. The consequence of this is a drop in the concentration of free cGMP in the cytoplasm. As a result of this, the cGMP molecules, previously associated with the cGMP-gated ion channel, “fall off” from it, and the channel “slams”—it goes from an

open state to a closed one. The flow of Na+ and Ca2+ ions into the cell naturally stops, and the cell, or rather its plasma membrane of the cell, goes into a hyperpolarized state - a hyperpolarizing electric potential arises. This photoreceptor, hyperpolarizing potential is the same bioelectric visual signal, which is then transmitted to the next nerve cells of the retina.

In Fig. Figure 18 on the left once again shows a simplified diagram of the phototransduction mechanism. It is shown how the light-sensitive molecule of the visual pigment rhodopsin absorbs a quantum of light, how as a result of this, thanks to the work of the enzymatic amplification cascade, a photoreceptor, hyperpolarizing potential arises, which, spreading to the presynaptic ending, changes the rate of release of a chemical substance (neurotransmitter) from the cell. Since the photoreceptor potential is hyperpolarizing, it causes not an acceleration, but a slowdown in the rate of neurotransmitter release from the presynaptic end of the cell into the synaptic cleft, and in bright light, a complete cessation of neurotransmitter release. In other words, as surprising as it may seem, in the retina of vertebrate animals and humans, it is the slowing down of the speed or cessation of the release of a neurotransmitter from the presynaptic ending that serves as an information signal about the absorption of a light quantum for the retinal nerve cells following the photoreceptors. In Fig. 18 on the right shows real recordings of the electrical responses of the retinal rod to flashes of light of increasing intensity. These responses are a consequence of a decrease in the rate or complete cessation of the ionic current into the cell, which leads to its hyperpolarization.

The mechanism of synaptic transmission of a photoreceptor signal from photoreceptor cells to subsequent retinal nerve cells is quite complex, and the structure of the first photoreceptor synapse is very unusual (see Fig. 19).

Numerous synaptic endings of rods, they are called “spherules”, are small round projections, 3-5 microns in diameter. Figure 19, on the left, shows a diagram of the structure of the spherule. The endings of the cones, they are called “cone legs,” are large, conical, with a diameter of 8-10 microns. Both rod spherules and cone stalks contain dense structures called synaptic ribbons, on and around which there are many synaptic vesicles containing neurotransmitter molecules. There are about 30 such ribbons in the cone stalk; in the rod spherules there are only two synaptic ribbons. Two processes (dendrites) of bipolar cells (so-called rod bipolars) and two processes (dendrites) of horizontal cells protrude into these ribbons into the rod spherule, as shown in Fig. 19, on the left. In the same fig. 19, on the right is the retina itself and the rod that absorbed the light quantum in it. This rod is one of many others converging on the bipolar cell, and it is this rod that transmits the signal for light to the bipolar cell. The processes of both bipolar and horizontal cells protrude into the synaptic ending (spherule) of this rod. In the first, photoreceptor synapse, the signal is not only transmitted to nerve cells, but also processed. The summation of such signals from 5-15 bipolar cells, which have received information about the absorption of a

quantum of light from “their” rods, reaches the ganglion cells, which send it in the form of a sequence of nerve impulses to the brain, and which, of course, is subjectively perceived as barely noticeable flash of light.

Since our lecture is about the molecular mechanisms of generation, transmission and primary processing of the photoreceptor signal, we will briefly consider how exactly it is transmitted and processed.

In the outer synaptic layer of the retina, the presynaptic terminals of cones and rods contact various types of bipolar and horizontal cells. In Fig. Figure 19 (right) and Figure 20 show the main cellular elements of the retina: photoreceptor - rods (P) and cones (C), and nerve - bipolar (B), horizontal (D), amacrine (A) and ganglion (GC) cells. Their synaptic connections are also presented in the rather narrow outer synaptic layer (OSL) and in the much wider inner synaptic layer (ISL). It is important that already in the outer synaptic layer two information flows are formed. One of them is designed to detect objects that are lighter than the background, and the other is designed to detect objects that are darker than the background. This is the so-called ON and OFF streams. This mechanism provides the most important visual functions - the perception of contrast, light and dark boundaries, in other words, object vision. The question is how exactly this happens, what is the molecular mechanism of such separation of information flows already at the first stage of transmission and processing of the photoreceptor signal. This mechanism turned out to be very unusual.

As we have already said, in response to light, the photoreceptors of vertebrates and humans hyperpolarize. The fact of their hyperpolarization, and not the depolarization inherent in most sensory receptors of other modalities in response to stimulation, became a sensation in the mid-60s [11]. Around the same years, Yu.A. and I. Trifonov obtained amazing results, from which it followed that in the dark the photoreceptors are depolarized and some kind of neurotransmitter is constantly released from their synaptic endings, depolarizing the next nerve cell, and that in the light the rate of its release decreases, while in bright light it stops being released altogether [12 ]. Details

Detailed article by Yu.A. Trifonova reported on this discovery the following year [13].

But what is important is that postsynaptic bipolar cells respond to light by either hyperpolarization or depolarization. The hyperpolarizing type of bipolar cells is called OFF bipolars, and the depolarizing type is called ON bipolars. Postsynaptic horizontal cells always respond to light with hyperpolarization. And this is understandable, since in the dark they are constantly exposed to a depolarizing neurotransmitter, and they are therefore in a depolarized state, and the cessation of the release of the depolarizing neurotransmitter leads to their hyperpolarization. The same applies to bipolar cells that hyperpolarize to light—OFF-bipolars. But the question is, how do bipolars synaptically connected to photoreceptors respond to light

with depolarization, how and why do they become ON-bipolars? It turned out that the existence of two types of bipolars is due to the fact that their postsynaptic membranes contain different receptors (molecules) for the same neurotransmitter, namely glutamate. In the hyperpolarizing type of bipolars this is the so-called. ionotropic glutamate receptors, and in the depolarizing type of bipolars the so-called. metabotropic glutamate receptors, which invert the signal through a G-protein cascade. Thanks to this inversion of the sign of the response to light in ON bipolars, already at the very early stage of processing the photoreceptor signal, two information flows are formed - OFF and ON flows throughout the entire retina and further throughout the entire visual system. Figure 21 schematically and very simplified shows the formation of ON and OFF pathways for processing visual information from the same cone. In the cone itself, in response to light, a slow hyperpolarization response occurs. In the OFF bipolar (ionotropic glutamate receptor) in contact with it, a slow hyperpolarization response also occurs. This is how the OFF channel or OFF pathway for processing visual information begins. In the ON bipolar (metabotropic glutamate receptor) in contact with the same cone, a slow, but now inverted, depolarization response occurs. This is how the ON channel or ON pathway for processing visual information begins. Further, OFF- and ON-bipolars transmit information synaptically, but in the internal synaptic layer, to ganglion cells. Among almost three dozen functional types of ganglion cells, a significant proportion belongs to OFF- and ON-types, which are formed due to OFF- and ON-bipolars. In OFF-type ganglion cells, in response to light, hyperpolarization occurs, leading to the cessation of their spontaneous impulses in the dark, i.e. to their physiological inhibition. In ganglion cells of the ON type (ON channel), in response to light, depolarization occurs, leading to the emergence of rapid impulse activity, i.e., their physiological excitation. Visual information entering the brain through the axons (optic nerve) of all types of ganglion cells into the brain is naturally subjected to further highly complex processing, culminating in the recognition of the visual image. Without going into any detail into the process of processing visual information at the level of the retina, we will briefly say only about the main functions of its nerve cells. As is obvious, bipolar and ganglion cells constitute a direct pathway for the transmission of visual information from photoreceptor cells - rods (twilight vision) and cones (daylight, color vision), while horizontal and amacrine cells provide horizontal information processing. Horizontal cells are responsible for the so-called. lateral inhibition, ensuring the formation of receptive fields of bipolar cells. Amacrine cells also provide lateral inhibition and the formation of receptive fields of ganglion cells. But they are also responsible for many other visual functions, including efficient signal transmission with a high signal-to-noise ratio.

In general (see Fig. 22), the molecular mechanisms of the emergence, transmission and processing of the photoreceptor signal in the first, outer synaptic layer, the mechanisms of its subsequent complex processing in nerve cells and the

inner synaptic layer of the retina, and, of course, details of the highly complex information processing in higher brain centers constitute the essence and remain the subject of the most interesting and most important fundamental research of the visual system at the present time and in the future. However, the mechanisms of information processing in the retina as “a part of the brain brought to the periphery” (Ramon y Cajal), and even more so in the visual and then other centers of the brain, go far beyond the scope of this article, constituting a huge area of interdisciplinary research.

***親愛的同事們！***

我們的國會在跨學科方面是獨一無二的。 我認為生理學家的參與至關重要。 重要的並不是特定的知識，尤其是最近獲得的關於大腦工作、感覺系統工作、創造、處理和處理的機制的知識。

生命系統中訊息的傳輸；最後，記憶甚至意識的機制可以以某種方式轉移到資訊技術，以改善我們通常所說的「人工智慧」。 在我看來，生理學家的參與在另一個意義上也很重要，因為這種知識擴大了視野，也許可以引導這些相同資訊科技的專家產生新的想法。 正如他們所說，“知識就是力量！” 因此，生理學家在這次大會上的一系列報告是自然而然的，對於「資訊人」來說肯定是有趣和有用的，例如 K.V.院士的報告。 阿諾欣關於現代問題和意識機制的方法。

我今天要討論的內容涉及生命系統中訊息創建的分子機制，特別是響應視網膜視覺細胞吸收光而創造視覺訊息。 近幾十年來，感覺生理學領域取得了驚人的進展。 但在談論分子基礎之前，我必須先談談視覺的基本生理基礎。從這些生理學基礎中產生了創建視覺訊號（即生命系統中的視覺訊息）的現代分子基礎。 我將從物理學家和眼睛的絕對光敏感度閾值開始。

***物理和視覺***

物理學家一直對視覺的本質很感興趣。 在十九世紀和二十世紀上半葉，他們不僅對眼睛光學的理解（約翰·開普勒\1611\“透鏡是聚焦透鏡”）、色覺理論（托馬斯 Young \1802\、J. Maxwell \1861 \、Hermann Helmholtz \1856\），也確定了視覺系統的絕對光敏感度。 19 世紀末，物理學家、天文學家、測輻射熱計的發明者 Samuel R. Lanley（1834 - 1906 年）首次對人眼的光敏感度閾值進行了相當有效的測定。 其絕對光敏感度閾值 - 3x10-9 erg 或約 800 量子入射到角膜上，結果僅比現代值高一個數量級。 本質上，接下來朝這個方向邁出重要一步的物理學家是 Yu. B. Khariton 和 S.I. 瓦維洛夫。

Yu. B. Khariton - 蘇聯原子彈的「之父」之一，於 1926 年抵達劍橋的卡文迪什實驗室，並從恩斯特·羅斯福和 J. 查德威克那裡收到了當時核物理的經典問題- 計數α -粒子，他用它來解決人眼的問題[1]。

S.I. 在 1930 年代，瓦維洛夫和他在列寧格勒國家光學研究所的合作者正在積極研究光的量子性質。 由於對視覺的本質和視覺科學的歷史非常感興趣，S. I. Vavilov 還開展了一系列工作，並根據這些工作的結果確定了人眼絕對光敏感度的閾值 [2-4]。

早在 1923 年，在純粹的物理國家光學研究所就創建了一個專門的視野實驗室。 1931 年，當該研究所由 S.I.瓦維洛夫領導時，它更名為生理光學實驗室。 S.I. Vavilov 和他的合作者成功地建立了光的量子性質，並透過實驗測量了眼睛的閾值靈敏度。 這些研究理所當然地被認為是物理學和生理學領域的經典。

在第一張幻燈片（文章中的圖 1）上，我向您展示了 Yuliy Borisovich Khariton 院士（他在中間）的照片（左邊），我在他旁邊，右邊是他的老師，尼古拉·尼古拉耶維奇·謝苗諾夫院士，諾貝爾獎得主，化學物理學家研究所的創始人，他早在 1969 年就接納了我和一群員工加入該研究所，哈里頓的左邊是雅科夫·鮑里索維奇·澤爾多維奇院士，他是化學物理學家的第二個「之父」蘇聯原子彈，也是尼古拉·尼古拉耶維奇·謝苗諾夫最親近的學生。 這張投影片右側的照片是蘇聯科學院院長謝爾蓋·伊凡諾維奇·瓦維洛夫院士的肖像，他不僅研究光的量子性質，還研究視覺生理學。

根據物理學家哈里頓和瓦維洛夫在不同年份獨立進行的工作，得出的結論是，人眼的視桿視網膜能夠僅對吸收的一個光量子做出生理訊號響應。

目前，實驗確定的眼睛光敏感度閾值是 4÷7●10-10erg/s。 我們談論的是來自點源的最小光能流，它落在眼睛的角膜上，並被大腦感知為閃光。 就 507 nm（視桿視覺可見度曲線的最大值）的波長而言，此閾值能量對應於 50÷150 量子。 到達視網膜的能量約有一半在眼睛的光學介質中損失，這主要是由於角膜的反射以及晶狀體和玻璃體的吸收。 因此，在到達視網膜的 25÷75 量子中，只有 5÷15 光量子被感光（視覺）細胞本身有效吸收。 其餘的，即所謂的「額外」量子，穿過視網膜並被下面的單層黑色色素上皮吸收。

1942 年，生理學家 S. Hecht 和合著者發表了一篇論文，其中關於一根棒一個量子的結論已經包含在所有手冊和教科書中 [5]。

因此，視網膜的視覺細胞（視桿）能夠偵測一個吸收的光量子。 換句話說，當桿吸收一個量子光時，桿中就會產生生理訊號，然後傳送到視網膜的下一個神經細胞，經過處理並發送到大腦。

為了避免誤解，需要強調的是，一根棒子吸收一個量子對於微弱閃光的主觀感知（感覺）來說是完全不夠的。 這需要在非常特定的短時間內對來自至少 5-15 個受光激發的棒的信號進行求和（有關更多詳細信息，請參閱 [6,7]）。

這項基本發現推動了視覺分子機制的現代破解。 我們正在談論光轉導的分子機制 - 視覺色素視紫質分子吸收光量子，即 初級光訊號、此訊號的後續

放大（再現）以及視覺（感光）細胞中最終出現的電感光訊號。

院士對俄羅斯視覺生理學的發展發揮了巨大作用

***光轉導機制：作用位點***

將初級光訊號轉換為視細胞電（光感受器）訊號（光轉導機制）的過程不是發生在整個視細胞中，而是發生在其專門部分 - 外節。 在圖中。 圖 3 顯示了眼睛的示意圖，其中顯示了視杯底部的視網膜襯裡。 此外，中間是視網膜各層的圖，其中顯示了一層視覺細胞 - 感光視桿細胞和視錐細胞，在它們後面是視網膜的神經層，其中處理視覺訊息最複雜在它通過大約 100 萬 20 萬根視神經纖維進入大腦之前發生。 最後，右邊是視桿細胞本身，負責黃昏視力，以及視錐細胞，負責白天的色覺。 視桿細胞和視錐細胞的外部部分以紅色突出顯示，其中吸收的光量子引發生物電視覺（光感受器）訊號的形成。

下一張照片（圖 4）聖地亞哥·拉蒙·卡哈爾（Santiago Ramon y Cajal）是一位偉大的西班牙組織學家，現代神經生物學的奠基人之一，1906 年諾貝爾生理學或醫學獎獲得者。 「正如他在 19 世紀末所寫的那樣，視網膜『是中樞神經系統的一部分，是大腦的外圍部分」[8]。

當他說並寫下這句話時，他自己並沒有懷疑自己是多麼正確。 正如我們現在所知，大量的視覺訊息處理發生在視網膜的神經層中，其中的許多處理細節我們仍然不清楚。

下圖 5 非常示意性地顯示了視網膜的主要細胞元件及其突觸連接。 視錐細胞及其三種光譜類型（藍色、綠色和紅色敏感）將第一個感光突觸處的訊息直接傳遞到下一個視網膜神經細胞，即所謂的視網膜神經細胞。 雙極細胞。 反過來，雙極細胞也在第二個突觸處直接傳遞訊息（第二次切換），即所謂的神經節細胞。 它沿著軸突的漫長過程，以一系列神經脈衝的形式將訊息傳遞到大腦，即枕葉視覺中心。 所以，白天錐視就是所謂的中央、明視、色彩、最清晰的視力，如果用專業術語來說，就是高度分辨。 簡單來說，錐視的視力就很高。 至於位於視網膜外圍的視桿細胞，正如他們所說，「所有的貓在晚上都是灰色的」。 但桿狀視覺非常敏感。 要看到夜空中閃爍的星星，您需要用眼角的餘光看它。 古代天文學家對此非常了解。 正如我們已經說過的，正是該視桿能夠檢測其外段視覺色素視紫質 109 個光敏分子之一所吸收的光量子。 接下來，視桿細胞和視錐細胞之後是神經細胞－雙極細胞、水平細胞、無長突細胞和神經節細胞。 事實上，這些細胞有相當多的功能類型。 雙極和水平細胞接收並處理來自感光細胞的訊息。 毫不奇怪，它們接收的訊息是以在強光下減慢甚至停止向突觸間隙釋放化學物質（一種神經傳導物質，即谷氨酸）的形式。 水平細胞的功能是水平處理來自感光器的訊息，雙極細胞的功能是將第一個感光器突觸中已經處理過的訊息突觸傳遞到下一層神經細胞－無

長突細胞和神經節細胞。 視網膜的第二突觸層比第一層寬得多。 再說一次，無長突細胞的功能是對從雙極水平接收的訊息進行最複雜的處理，並且許多功能類型的神經節細胞的功能是以一系列神經衝動的形式沿著其長軸突明信片傳輸訊息大腦。 重要的是：衝動活動僅發生在視網膜的神經節細胞。 在所有其他神經植入中，不會出現神經植入：光感受器以緩慢的電活動對光作出反應，並且在雙極細胞、水平細胞和大多數無長突細胞中也存在緩慢的電活動。

視網膜生理學中有這樣一個概念—「感受野」。 關鍵是一個細胞從許多突觸相連的細胞收集資訊。 例如，1 個雙極細胞從至少 15-30 個視桿收集光感受器訊號（圖 6）。 由於人類視覺的絕對閾值是 10-15 個量子落在整個視網膜上，因此 2 個或更多量子擊中一根桿的機率可以忽略不計。 這意味著只有雙極細胞感受野中的 15-30 根桿中的一根在吸收 1 個光量子時才會產生訊號，然後該訊號經過雙極細胞的突觸傳遞和處理，然後進一步發送到第二突觸層。就是對這個訊號的處理

那麼這個訊號是如何在視覺細胞中產生的呢？ 其發生的過程，即光訊號轉換為電（光感受器）訊號，發生在其專門的外段，稱為光轉導。 在圖中。左邊的圖 7 是在棒中這過程的示意視覺表示。 光量子被填充外段的 109 個視紫質分子之一吸收。 由於外部部分質膜上的這個分子吸收了光量子，電位也改變（不會出現，而是改變）。 這種變化（膜的超極化）是非常「新興」的光感受器電訊號，它相當緩慢（不像神經衝動）傳播到突觸前末端，並調節（降低）神經傳導物質釋放到突觸間隙的速率。 因此，初級視覺（感光器）訊號在視網膜的第一個感光器突觸中進一步以化學方式傳遞至雙極和水平神經細胞。 這種響應 1 個量子吸收的電訊號（光感受器電位）可以直接從棒上移除（記錄），如圖右側所示。 結果證明它相當大：大約是魔杖對明亮、飽和閃光的最大反應的 3%。 這種強度的生理訊號從外節的起始點傳播到突觸前端，可以自信地傳遞到雙極和水平神經細胞。 換句話說，將視紫質吸收的單量子光的能量轉換為感光器（視覺）訊號的過程是非常有效的。 這是從光量子到光感受器訊號的過程——光轉導的機制現在已經被很好的描述。 它的本質是酵素的增強近十萬倍。 它始於視紫質分子中的光化學反應，反應的速度和效率是獨一無二的。 在圖中。 圖 8 左側是桿狀感光細胞的示意圖。 它的外段包含一堆圓盤，就好像彼此疊加並且嚴格定向一樣。 在人類視網膜的視桿中大約有一到兩千個，在公牛（晝行動物）的視桿中大約有兩百到三百個，在生活在深海的魚的視桿中大約有兩百到三百個。在幾乎完全黑暗的情況下，它們的數量可能超過兩萬。 視覺器官進化的想法是「捕捉」光量子。 光線越少，圓盤就越多，相應地，需要外部部分的視紫質分子來「捕獲」量子並啟動光轉導過程。 每個圓盤都是兩層生物膜，沿著邊緣「融合」在一起； 椎間盤內部有一個狹窄的椎間盤空間。 感光視紫質分子被「插入」到視盤膜中，這些分子

在視盤中的密度極高。 同時，在像橄欖油一樣液態的視紫質分子的感光膜中，它處於動態的單體-二聚體狀態。 此圖下方是視紫質分子本身，「插入」雙脂質膜。 該分子由一個大的蛋白質部分和一個非常小的髮色團部分 - 維生素 A 醛（視黃醛）分子組成，它使整個分子呈現粉紅色。 此外，有趣且重要的是，視黃醛原則上可以有 16 種異構體形式。 但在動物世界進化的早期階段，只有一種異構體被「選擇」作為所有視覺色素的髮色團部分（髮色團），即視網膜的 11-順式異構體。 現在對此有了物理和化學的解釋。 視黃醛的 11-順式異構體位於蛋白質部分內部，並透過共價鍵與蛋白質緊密結合。 以及圖中右側。 圖 8 顯示了視紫質（其蛋白質部分）的真實現代 X 射線結構圖。 可以看出，蛋白質確實「插入」了膜，其多肽鏈穿透了膜七次。 此外，事實證明，這條鏈（「鏈」）的每個膜內部分相對於膜平面都有自己的傾斜角度，這在功能上很重要。

在下圖中。 圖 9 顯示了該分子的橫截面。 這也是 X 射線結構分析的結果。 在左側，您可以看到 11-順式視黃醛（紅色）浸入蛋白質部分（綠色）。 右側是 11-順式視黃醛（紫色）的 X 射線結構圖，其被蛋白質髮色團中心的氨基酸殘基包圍，並透過其末端（醛基）與其中一個氨基酸殘基共價結合，即第七個中第 296 個賴氨酸的氨基比蛋白質部分（視蛋白）的多肽鏈「重」。

現在讓我們詳細討論視紫質分子中這種速度和效率獨特的光化學反應，它作為觸發器啟動光轉導過程，即視覺行為。 早在 1958 年，後來的諾貝爾獎得主喬治沃爾德 (George Wald) 哈佛大學的實驗室就發現了這種反應。

迄今為止，對此反應機制的研究不僅在視覺生理學領域，而且在現代光化學領域仍然是一個「熱點」。 視紫質本身是由費倫茨·波爾 (Ferenz Boll) 於 1876 年發現的，他稱之為「視覺物質」(Sehestoff)。 然後，由於其紫粉色，它被重新命名為“視覺紫色”，直到後來它才開始被稱為視紫紅質，源自希臘語“rhodo” - 粉紅色和“opsis” - 看到。

費倫茨·波爾的發現的本質非常簡單。 他親眼觀察了從青蛙眼睛上取下的粉紅色視網膜如何在光線下變色——先變黃，然後變白。 從這種本質上是光化學的觀察中，他得出結論，視網膜的視覺細胞含有某種光敏物質，其變色在某種程度上與視覺過程有關。 但鮑爾觀察到的已經是光化學反應的結果，當視網膜從其蛋白質部分脫落時，視紫質分解。 隨後對視紫質光轉化的整個研究歷史都與光化學方法的進步有關，即與記錄光化學反應動力學的方法的發展有關。 隨著雷射光譜方法的發展，在飛秒時間尺度（1 飛秒等於 10-15 秒）上研究這些反應已成為現實。

George Wald 實驗室於 1958 年表明，視覺中唯一的光化學反應是 11-順式視黃醛圍繞 11-12 雙鍵異構化，形成其全反式異構形式，即拉直彎曲的視黃醛分子（圖 10） 。 換句話說，視覺中需要光的唯一原因是視紫質髮色團的光異構

化，這發生在 50-100 飛秒內。 分子蛋白質部分的所有後續構象重排以及確保視覺細胞中的光轉導過程、離子和電過程的所有後續酶促反應不再需要光。

沃爾德和他的員工自己並沒有懷疑它的獨特之處。 過去 10-15 年的研究表明，光異構化發生在飛秒時間內，並且該反應的效率非常高——量子產率為 0.65，而吸收的能量的 58%儲存在分子本身中（了解更多資訊）關於視紫質的光化學，參見[9]、[10]]。

在圖中。 圖 11 顯示了該反應的現代方案。 事實證明，異構化是透過所謂的勢能面「圓錐形交叉」發生的，它將視網膜的激發態(S1) 與第一個反應產物光視紫紅質(Photo) 連接起來，但現在處於基態( S0) 。 研究表明，視紫質中的順反轉變發生在非常短的時間內 - 50-100 fs，而這是一個連貫反應。 很明顯，這種轉變的最高速度和效率是透過視紫質分子的髮色團中心的髮色團與其直接蛋白質環境的相互作用來確保的。 這種相互作用的機制仍有待闡明。

視網膜與其鄰近髮色團中心的直接蛋白質環境的相互作用直接決定了視紫質分子的基本特徵，如吸收光譜最大值的位置、激發態的壽命、異構化的量子產率和觀察到的振動相干性在反應的第一個光產物中，即所謂的。 光視紫質。

事實上，很明顯我們正在談論光異構化過程的蛋白質催化，因為正是 11-順式視黃醛的蛋白質環境保證了其超快速和高效的光異構化（見圖 12）。該蛋白質環境位於視蛋白的髮色團中心與 11-順式視黃醛作為視紫質分子的髮色團產生多種相互作用 - 空間、靜電、氫和疏水。 這種相互作用的細節仍有待確定。

視蛋白 11-順式視網膜髮色團中心的光異構化有何生理意義？ 關鍵在於，彎曲的視網膜分子的異構化（拉直）會導致分子蛋白質部分的構象重排，即其形狀發生輕微變化。 事實證明，拉直的視網膜將 α 螺旋線推開，並將它們僅推開幾埃（圖 13，左）。 但事實證明，這已經足夠了，由於分子蛋白質部分錶面上鏈的置換，先前與另一種蛋白質（即所謂的 G 蛋白或轉導蛋白）封閉的結合位點被暴露出來。 （圖 13，右）。 因此，視網膜的光異構化觸發視紫質分子構象轉變為生理活性狀態。 這種生理活性狀態的本質是觸發酵素級聯放大光訊號，即視紫質僅吸收一個量子的可見光。

在圖中。 圖 14 顯示了此放大級聯中的四個主要參與者：視紫質、轉導蛋白（G 蛋白）、磷酸二酯酶和 cGMP 門控離子通道。 箭頭顯示光激活視紫質如何與轉導蛋白（G 蛋白）相互作用，轉導蛋白與極其活躍的酶- 磷酸二酯酶相互作用，磷酸二酯酶被激活後，會快速破壞溶解在外層細胞質中的環鳥苷單磷酸(cGMP) 小分子。感光細胞的一部分。 cGMP 分子「控制」所謂的感光細胞質（外）膜。 cGMP 門控離子通道。 在下圖中。 圖 15 示意性地顯示了該放大階段，實際上是一個鍊式反應。 可以看出，1 個視紫質分子吸收了一量子光後，在活化狀態下設法與近 200 個轉導蛋白分子相互作用並活化它們。 此

外，每個活化的轉導蛋白分子依序活化磷酸二酯酶分子。 然後每個磷酸二酯酶分子高速分解許多 cGMP 分子，將它們轉化為非環狀單磷酸鳥苷（GMP）。這是一次獨特的酵素級聯放大（再現）初級光訊號。 問題是，接下來會發生什麼事？ 為什麼這麼複雜？ 答案是感光細胞中產生生物電感光（視覺）訊號。

在圖中。 圖 16 顯示了吸收光量子之前的黑暗情況。 圖中所示的是視盤的感光細胞膜，其中酶放大級聯的所有蛋白質都位於其中，以及感光細胞（視覺）細胞的外部質膜，其中「內建」了 cGMP 門控離子通道。 在黑暗中，視紫質自然不會被激活，酶級聯也不起作用。 同時，細胞胞質中 cGMP 分子的濃度很大，並且有幾個 cGMP 分子與 cGMP 門控離子通道相當緊密地結合，並「保持」通道開放。 因此，在黑暗中，離子電流（Na+Ca2+）流入細胞，細胞，或更準確地說細胞的質膜處於去極化狀態。 在圖中。 圖 17 顯示了視紫質分子吸收光量子時的光情況。 然後視紫質進入生理活化狀態並觸發酶放大級聯。其結果是細胞質中游離 cGMP 的濃度下降。 結果，先前與 cGMP 門控離子通道相關的 cGMP 分子從中“脫落”，通道“猛然關閉”——從打開狀態變為關閉狀態。 Na+ 和 Ca2+ 離子流入細胞自然停止，細胞，或更確切地說細胞的質膜，進入超極化狀態 - 出現超極化電位。 這種光感受器的超極化電位是相同的生物電視覺訊號，然後傳送到視網膜的下一個神經細胞。

在圖中。 左側圖 18 再次顯示了光轉導機制的簡化圖。 它顯示了視覺色素視紫紅質的光敏分子如何吸收光量子，由於酶放大級聯的作用，光感受器如何產生超極化電位，該電位傳播到突觸前結束，改變細胞釋放化學物質（神經遞質）的速率。 由於光感受器電位是超極化的，它不會導致神經傳導物質從細胞突觸前端釋放到突觸間隙的速率加速，而是減慢，並且在強光下，神經傳導物質釋放完全停止。 換句話說，儘管看起來令人驚訝，但在脊椎動物和人類的視網膜中，突觸前端釋放神經傳導物質的速度減慢或停止，作為有關吸收的信息信號。跟隨光感受器的視網膜神經細胞的光量子。 在圖中。 右側的圖 18 顯示了視網膜桿對強度增加的閃光的電反應的真實記錄。 這些反應是進入細胞的離子電流速率降低或完全停止的結果，導致細胞超極化。

光感受器訊號從光感受器細胞到隨後的視網膜神經細胞的突觸傳遞機制相當複雜，且第一個光感受器突觸的結構非常不尋常（見圖 19）。

許多突觸桿的末端被稱為“小球”，是小的圓形突出物，直徑為 3-5 微米。 圖 19 左側顯示了小球的結構圖。 錐體的末端稱為“錐腿”，很大，呈圓錐形，直徑為 8-10 微米。 桿狀小球和錐狀莖都含有稱為突觸帶的緻密結構，其上和周圍有許多含有神經傳導物質分子的突觸小泡。 錐體莖中大約有 30 條這樣的帶狀；而桿狀小球中只有兩條突觸帶。 雙極細胞（所謂的桿狀雙極）的兩個突起（樹突）和水平細胞的兩個突起（樹突）突出到這些帶中，進入桿狀小球，如圖 19 左側所示。 在同一個圖中。 19，右邊是視網膜本身和其中吸

收光量子的桿。 該桿是匯聚在雙極電池上的許多其他桿之一，正是該桿將光訊號傳輸到雙極電池。 雙極細胞和水平細胞的突起都會突出到該桿的突觸末端（小球）。 在第一個光感受器突觸中，訊號不僅被傳遞到神經細胞，而且還被處理。 來自 5-15 個雙極細胞的此類訊號的總和，這些細胞已經接收到有關從「它們的」視桿吸收量子光的訊息，到達神經節細胞，神經節細胞以一系列神經脈衝的形式將其發送到大腦，當然，它在主觀上被認為是幾乎不可察覺的閃光。

由於我們的講座是關於光感受器訊號產生、傳輸和初級處理的分子機制，因此我們將簡要地考慮它到底是如何傳輸和處理的。

在視網膜的外突觸層，視錐細胞和視桿細胞的突觸前端接觸各種類型的雙極和水平細胞。 在圖中。 圖 19（右）和圖 20 顯示了視網膜的主要細胞元件：感光細胞- 視桿細胞(P) 和視錐細胞(C)，以及神經- 雙極(B)、水平細胞(D)、無長突(A) 和神經節(GC) ） 細胞。 它們的突觸連接也存在於相當狹窄的外突觸層（OSL）和較寬的內突觸層（ISL）。 重要的是，在外突觸層中已經形成了兩個訊息流。 其中一種設計用於檢測比背景亮的物體，另一種設計用於檢測比背景暗的物體。 這就是所謂的 ON 和 OFF 流。 這種機制提供了最重要的視覺功能——對比、明暗邊界的感知，換句話說，就是物體視覺。 問題是這種情況到底是如何發生的，在光感受器訊號傳輸和處理的第一階段這種訊息流分離的分子機制是什麼。 事實證明，這種機制非常不尋常。

正如我們已經說過的，脊椎動物和人類的光感受器對光的反應會超極化。它們的超極化，而不是大多數其他形式的感覺受體對刺激做出反應所固有的去極化，這一事實在 60 年代中期引起了轟動 [11]。 大約在同一年，Yu.A. 和我。特里福諾夫獲得了驚人的結果，由此得出，在黑暗中，光感受器會去極化，並且某種神經遞質不斷地從其突觸末端釋放，使下一個神經細胞去極化，而在光線下，其釋放速率會降低，而在光線下，其釋放速率會降低。它完全停止釋放明亮的光[12]。

Yu.A. 的詳細文章 Trifonova 在隔年報告了這項發現 [13]。

但重要的是，突觸後雙極細胞透過超極化或去極化對光作出反應。 雙極細胞的超極化型稱為 OFF 雙極型，去極化型稱為 ON 雙極型。 突觸後水平細胞總是會對光線作出超極化反應。 這是可以理解的，因為在黑暗中，它們不斷暴露於去極化神經傳導物質，因此它們處於去極化狀態，去極化神經傳導物質釋放的停止導致它們超極化。 這同樣適用於對光超極化的雙極細胞—關閉雙極細胞。 但問題是，與光感受器突觸連接的雙極細胞如何對光作出去極化反應，它們如何以及為何變成 ON 雙極細胞？ 事實證明，兩種類型雙極的存在是由於它們的突觸後膜含有針對相同神經傳導物質（即谷氨酸）的不同受體（分子）。 在雙極的超極化類型中，這就是所謂的。 離子型麩胺酸受體，以

及所謂的雙極去極化類型。 代謝型麩胺酸受體，透過 G 蛋白級聯反轉訊號。由於 ON 雙極中對光響應的符號反轉，在處理感光訊號的早期階段就已經形成了兩個訊息流－OFF 和 ON 流遍及整個視網膜，並進一步遍及整個視覺系統。圖 21 示意性且非常簡化地顯示了用於處理來自同一視錐細胞的視覺訊息的 ON 和 OFF 路徑的形成。 在錐體本身中，響應光，會發生緩慢的超極化響應。 在與其接觸的關閉雙極（離子型麩胺酸受體）中，也會發生緩慢的超極化反應。 這就是處理視覺訊息的 OFF 通道或 OFF 路徑的開始方式。 在與同一錐體接觸的 ON 雙極（代謝型麩胺酸受體）中，會發生緩慢但現在反向的去極化反應。 這就是處理視覺訊息的 ON 通道或 ON 路徑的開始方式。 此外，OFF-和 ON-雙極透過突觸將訊息傳遞到神經節細胞，但在內部突觸層。 在近三打神經節細胞的功能類型中，很大一部分屬於 OFF 型和 ON 型，它們是由於 OFF 型和 ON 型雙極細胞而形成的。 在 OFF 型神經節細胞中，響應於光，發生超極化，導致其在黑暗中的自發性衝動停止，即其生理抑制。 在 ON 型神經節細胞（ON 通道）中，響應於光，發生去極化，導致出現快速脈衝活動，即它們的生理興奮。 視覺訊息透過各類神經節細胞的軸突（視神經）進入大腦，自然會受到進一步高度複雜的處理，最終形成視覺影像的辨識。 在不詳細討論視網膜層面處理視覺訊息的過程的情況下，我們將僅簡要介紹其神經細胞的主要功能。 顯而易見，雙極細胞和神經節細胞構成了從感光細胞－視桿細胞（暮光視覺）和視錐細胞（日光、色覺）傳遞視覺訊息的直接途徑，而水平細胞和無長突細胞則提供水平資訊處理。 水平細胞負責所謂的。 側抑制，確保雙極細胞感受野的形成。 無長突細胞也提供側向抑制和神經節細胞感受野的形成。 但它們也負責許多其他視覺功能，包括具有高信噪比的高效能訊號傳輸。

一般來說（見圖 22），第一外突觸層中光感受器訊號的出現、傳輸和處理的分子機制，其隨後在神經細胞和視網膜內突觸層中的複雜處理的機制，當然高級大腦中心高度複雜的資訊處理的細節構成了視覺系統當前和未來最有趣和最重要的基礎研究的本質和主題。 然而，視網膜作為「大腦的一部分被帶到外圍」（Ramon y Cajal）的訊息處理機制，在視覺和大腦的其他中心更是如此，遠遠超出了本研究的範圍。文章，構成了一個巨大的跨學科研究領域。

***Литература*** ***References*** ***參考書目***

1. Langley S.P. Energy and vision, Phil. Mag., 1889, vol. 27, series 5,1

2. Брумберг Е.М., Вавилов С.И. Визуальные измерения статистических флуктуаций фотонов. Известия АН СССР (ОМЕН), 1933, № 7, С. 919-941.

3. Вавилов С.И. Флуктуации света и их измерения визуальным методом. Труды физиологической оптики, 1936, С. 332-342.

4. Вавилов С.И. Глаз и солнце, 1927, М.

5. S.Hecht, S.Shlaer, M.H.Pirenne. Energe, quanta and vision. J.General Physiology, 1942, v.25, С. 819-840

6. Островский М.А., Говардовский В.И. Механизмы фоторецепции позвоночных. В серии "Руководство по физиологии", в книге:" Физиология зрения" 1992. Глава 1. С. 5 -59, М., "Наука".

7. Островский М.А., Сакина Н.Л., Федорович И.Б., Чеснов В.М. Физики и световая чувствительность глаза. Природа. 2001. No. 6. С. 70-77.

8. Ramon y Cajal S. La retina des vertebres. La Cellule. 9: 119-228. 1893

9. Островский М.А., Фельдман Т.Б. Химия и молекулярная физиология зрения: светочувствительный белок родопсин, Успехи химии, 2012, 81,(11), 1071-1090.

10. Островский М.А., НадточенкоВ.А. Фемтохимия родопсинов. Химическая физика, 2021,40, 4:76–84.

11. Tomita T. (1965). Electrophysiological study of the mechanisms subserving color coding in the fish retina. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, 30, 559–566.

12. Островский М.А., Трифонов Ю.А. Реакция горизонтальных клеток сетчатки карпа при ингибировании оубаином К – Na-активируемой АТФазы, Биофизика. 1967, 12, (6), 1037-1042.

13. Трифонов Ю.А. Исследование синаптической передачи между фоторецептором и горизонтальной клеткой с помощью электростимуляции сетчатки. Биофизика. 1968, № 10, С. 673-680.

DOI 10.18699/sblai2023-53
УДК 577.25

# *Сознание в нейронных гиперсетях*

# *Consciousness in neural hypernetworks*

# *神經超網路中的意識*

Анохин К.В.
*академик РАН, Институт перспективных исследований мозга*
*МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*
*Academician of the Russian Academy of Sciences, Institute for Advanced Brain Research,*
*Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Moscow, Russia*
*俄羅斯科學院高級腦研究所院士*
*莫斯科國立大學以它的名字命名 MV 羅蒙諾索夫, 莫斯科, 俄羅斯*

***Аннотация.*** Речь в работе идет о нейронных гиперсетях и процессах сознания, с которыми мы работаем. Сознание - это специфический процесс в специфически организованной структуре. Это структура нейронной гиперсети, описываемой формальным языком, специфический процесс - это процесс глобальной перколяции активности в указанной сети. Статья начинается с определения сознания, далее показано, что разобраться в этой теме можно только с помощью теории. На сегодняшний день имеется большое количество теорий сознания, мы выделяем в них физико-математическое направление, разбираем некоторые из этих теорий. Далее речь идет о той теории, которую мы называем теорией нейронных гиперсетей, о некоторых принципах устройства этой структуры, так, как она представляется нейрофизиологам. Сознание представляет собой особый вид трафика в этой специфической структуре, отличающейся от известных представлений в теориях нейронных сетей.

***Ключевые слова:*** сознание, когнитом, функциональные системы, нейрофизиология, трафик, искусственный интеллект

***Annotation.*** The work is about neural hypernetworks with which we work. Consciousness is a specific process in a specifically organized structure. This is the structure of a neural hypernetwork, described in formal language, a specific process - the process of global percolation of activity in this network. The article begins with a definition of consciousness, then it is shown that this topic can only be understood with the help of theory. Today there are a large number of theories of consciousness, we highlight the physical and mathematical direction in them, and analyze some of these theories. Next we talk about the theory that we call the theory of neural hypernetworks, about some principles of the structure of this structure, as it appears to neurophysiologists. Consciousness represents a special kind of traffic in this specific structure, which differs from the known concepts in neural network theories.

***Keywords:*** consciousness, cognitome, functional systems, neurophysiology, traffic, artificial intelligence

***註解。*** 我們正在談論我們所使用的神經超網路。 意識是特定組織結構中的特定過程。 這是一個神經超網路的結構，用形式語言描述，一個特定的過程－這個網路中活動的全域滲透過程。 文章首先對意識進行了定義，然後表明這個主題只能藉助理論來理解。 今天有

大量的意識理論，我們強調其中的物理和數學方向，並分析其中的一些理論。 接下來我們討論我們稱為神經超網絡理論的理論，討論這種結構的一些原理，正如神經生理學家所看到的那樣。 意識代表了這種特定結構中的一種特殊的流量，它與神經網路理論中的已知概念不同。

***關鍵字:*** 意識, 認知組, 功能係統, 神經生理學, 交通, 人工智慧

Уважаемые коллеги! Большое спасибо за приглашение выступить на этом замечательном Конгрессе, который собирает в себе специалистов как в области системной биологии и теории систем, так и математики, искусственного интеллекта. Моя область исследований лежит, как раз, на перекрестке этих дисциплин. Это нейрофизиология высших функций мозга. Так получается, что в последние годы она связана с развитием новых математических подходов. И мне хотелось бы сегодня рассказать об этой области и теории, с которой мы работаем и пригласить и попросить сотрудничества со стороны специалистов в области математики, потому что это то, что происходит сейчас в мире и то, что требуется для прогресса нашего понимания того, как мозг рождает процесс сознания. Я начну сразу с резюме, в котором суммированы основные моменты доклада. Речь будет сегодня о нейронных гиперсетях и процессах сознания, согласно теории нейронных гиперсетей, с которыми мы работаем. Сознание - это специфический процесс в специфически организованной структуре. Это структура нейронной гиперсети. По крайней мере, так она может быть описана формальным языком. А специфический процесс — это процесс глобальной перколяции активности в этой сети. И мы как нейрофизиологи заинтересованы в совместном исследовании этой структуры, органической и вместе с тем математической структуры, и этого процесса, с одной стороны физиологического, когнитивного, с другой стороны, информационного с помощью физико-математических наук. Я начну с определения сознания и скажу, почему это сегодня такая важная тема. Дальше, я перейду к тому, что разобраться в этой теме можно только с помощью теории. И что в последние годы роль математики и теоретической физики в теоретических исследованиях высших функций мозга, в том числе сознания, становится все больше и больше. Дальше, я сделаю некоторый обзор проблемной ситуации. На сегодняшний день имеется большое количество теорий сознания, я выделю в них физико-математическое направление, разобрав некоторые из этих теорий. И, наконец, в третьей части я расскажу о той теории, с которой мы работаем и которую мы называем теорией нейронных гиперсетей или гиперсетевой теорией мозга, расскажу о некоторых принципах устройства этой структуры, так, как она представляется нам найрофизиологам. И, коротко, о том, что сознание представляет собой особый вид трафика в этой специфической структуре, отличающейся от известных нам представлений в теориях нейронных сетей.

Итак, определение сознания. Сознание — это термин, который в истории

имеет множество смыслов. Тем не менее, в последнее время в научном сообществе намечается некоторый консенсус в определении фундаментальной характеристики сознания, определяемого, как любого субъективного опыта, генерируемого или изнутри системы, или в ответ на внешнее обстоятельство, которое включает в себя как высоко порядковые мысли, планы, идеи, так и эмоциональные чувства, ощущения. Короче говоря, все, что ощущается субъектом. Наш выдающийся философ сознания Давид Израилевич Дубровский в свое время определил это охватывающим термином субъективной реальности. Это определение существенно отличается от определений и понимания сознания, которые давались ранее. Например, в большом энциклопедическом словаре сознание определялось еще 25 лет назад, как высшая форма психического отражения, которая свойственна общественно развитому человеку, связанная с речью, идеальная сторона целеполагающей деятельности. Тогда, согласно этим представлениям, сознанием может обладать только человек. Сегодня ситуация и фокус исследования сознания существенно сместились. Но прежде, чем сказать о нём, нужно сформулировать саму суть проблемы сознания. В принципе, ее очень остро в одной фразе сформулировал Иван Петрович Павлов около ста лет назад. Как материя мозга рождает субъективные явления? Давид Израилевич Дубровский дал более развернутое определение этой проблемы, сформулировав ее в двух вопросах. Как объяснить связь явлений субъективной реальности с мозговыми процессами, если первым нельзя приписывать физические свойства, а вторые ими необходимо обладают? И второй вопрос, если явлениям субъективной реальности нельзя приписывать физические свойства, то как объяснить их способность причинного действия на телесные процессы. Нужно сказать, что несмотря на то, что этой проблемой занимается огромное количество философов, написаны тысячи книг, в отношении и первого, и второго вопроса это открытая научная проблема. Значительную роль в изучении этих вопросов сегодня играет нейронаука. Теперь скажем о важности сознания, предложенного в такой фундаментальной формулировке. Если речь идет об ощущениях, субъективном опыте, любых переживаниях, в том числе эмоциональных реакциях, то мы обязаны начать рассматривать сознание как широкий природный феномен, присутствующий не только у человека, но и у других животных. И сегодня также с развитием системы искусственного интеллекта все острее встает вопрос о сознании у системы искусственного интеллекта. Ряд передовых групп в различных центрах и компаниях занимаются моделированием сегодня не просто искусственного интеллекта, а искусственного сознания. Проиллюстрировать это можно недавно состоявшимися двумя конференциями. Одна из них прошла в начале мая 2023 года и называлась Конференцией по сознанию животных (Animal Consciousness Conference 2023, Dharamshala, May 1-5). На ней собрались специалисты из дюжины стран, ведущие эксперты в области исследования сознания в

биологическом мире и конценсус, который достигается в такого рода конференциях, состоит в том, что большое количество животных, о которых мы раньше не думали, как о существах, обладающих сознанием, обладают этим феноменальным свойством, которому я выше дал определение. Это не только приматы, это не только дельфины и высшие млекопитающие с сильно развитым мозгом слоны, киты, касатки и так далее. Это птицы, это ряд видов головоногих моллюсков, такие как осьминоги, каракатицы. Я пропускаю многих других млекопитающих. Это членистоногие, пчелы, шмели, другие виды насекомых. Сознание широко распространено в биологическом мире.

Вторая конференция, которая, традиционно проходит с 1994 года, каждый год, крупная конференция, которая называется Наука о сознании, проходила в Италии в Taormina (The Science of Consciousness 2023, Taormina, May, 22-27). На ней было заслушено большое количество докладов. Вот некоторые их иллюстрации. На конференции по сознанию животных, например, была удивительная работа Мосанори Кода, опубликованная некоторое время назад (Masanori Kohda «Cleaner fish identify themselves via self-face recognition like humans: What does this mean?», Osaka Metropolitan University, Osaka, Japan), показывающая, что рыбы чистильщики способны идентифицировать самих себя и узнавать самих себя в зеркале. Таким же образом, как это делается людьми и некоторыми высшими приматами. Это удивительные данные, которые заставляют нас быть внимательными, совершенно иначе смотреть на распространение феномена сознания в естественном мире. С другой стороны, ключевая лекция на конференции в Taormina была прочитана Девидом Чальмесом ее название: «Способны ли большие языковые модели быть сознательными?» (David Chalmers «Could a Large Language Model be Conscious?», NYU, New York, USA). На ней он рассмотрел аргументы за и против. Нет консенсуса в этом вопросе. Есть разные точки зрения, но этот вопрос стоит. Таким образом, мы видим, насколько актуально сегодня понимание фундаментальных принципов организации сознания. И чтобы понять их недостаточно чисто экспериментальных исследований, количество фактов накопленных в нейронаучных исследованиях огромно. А они так и не привели пока к священному граалю, который был провозглашён около 30 лет назад, нобелевским лауреатом Френсисом Криком и его коллегой Кристофом Кохом - найти нейронные или нервные корреляты сознания. До сих пор нет надежного нервного коррелята сознания. И отчасти это понятно, потому что только теория позволит решить, что наблюдается в эксперименте и предсказать, какого рода корреляты следует искать. Нельзя отказываться от построения теории в начале пути. Это окажется пагубным в оценке результатов экспериментов. «Когда мы говорим, что мы понимаем совокупность явлений природы, писал Эйнштейн, мы имеем в виду, что мы нашли конструктивную теорию, которая охватывает их». И, действительно, с постепенным

разочарованием в чисто эмпирических экспериментальных исследованиях поисках тех или нервных коррелятов сознания в последние десятилетия наблюдается буквально взрыв числа теории сознаний.

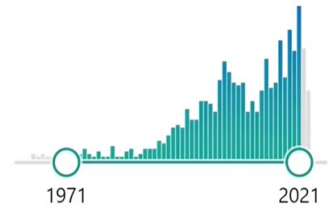



*Рис.1. Рост числа публикаций по теориям сознания*
*Fig. 1. Growth in the number of publications on theories of consciousness*
*圖 1. 意識理論出版數量的成長*

Здесь показан рост в количестве публикаций, включающих в себя ключевые слова сознания и теории, с 1971 по 2021 год, но если посмотреть просто на работы 21-22 года, обозревающие эту область, то увидим, что появились синтетические метаанализы огромного количества теорий. Этих теорий точно больше 30 сегодня, может быть около 50. И возникают вопросы, каким образом сравнивать эти теории. Работ на эту тему достаточно много.

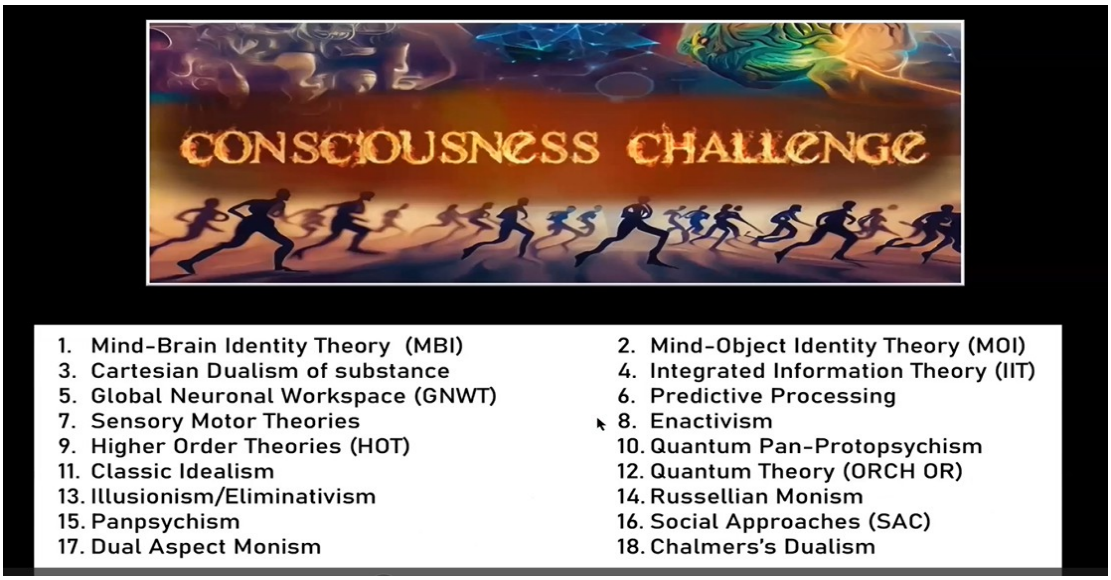



*Рис.2. Ведущие теории сознания по мнению участников конференции в Taormina (The Science of Consciousness 2023, Taormina, May, 22-27)*
*Fig. 2. Leading theories of consciousness according to conference participants in Taormina (The Science of Consciousness 2023, Taormina, May, 22-27)*
*圖 2. 陶爾米納會議參與者認為領先的意識理論（《意識科學 2023》，陶爾米納，5 月 22-27 日）*

На упомянутой конференции в Италии, в Taormina в мае 2023 года, был даже организован специальный конкурс - голосование всех участников конференции, которых было более 500 ученых, с выбором предпочитаемой ими теории сознания. На рисунке 2 выше перечислено только 18 теорий, есть некоторый произвол организаторов, в том, какие теории они выбрали, но суть состоит в этом. Одна из участниц докладчиков этой конференции вместе со своими коллегами год назад предложили специальную базу данных, названную Контраст, для анализа и сравнения эмпирических исследований тех или иных теорий сознания.

Ясно, что область расцветает и, может быть, через некоторое время здесь будет даже кризис перепроизводства.

Еще одна важная линия, которая намечается в последние годы, - это развитие физико-математического направления в изучении сознания. Становится понятным, что сознание, как состояние и процессы в сложных системах, требует анализа самых разных математических позиций. Это математический объект и информационный процесс в зависимости от взглядов тех или иных авторов.

Приведем названия ряда выступлений известных специалистов на семинаре «Математическая наука сознания», Mathematical Consciousness Science, который регулярно идет в сети (https://seminar.math-consciousness.org).




***Carlo Rovelly*** “Understanding consciousness within the known lows of physics three small contributions”,

***Karl Friston*** “Markov blankets and Boyesion mechanics”,

***Stephen Wolfram*** “How Features of Our Consciousness Seem to Define Our Lows of Physics and Mathematics”,

***Nao Tsuchiya*** “A search for an isomorphism between conscious experience and structure of information”.

Другой пример из Математического института Оксфорда, который проводит семинары по математическим моделям и основам сознания (рис.3).

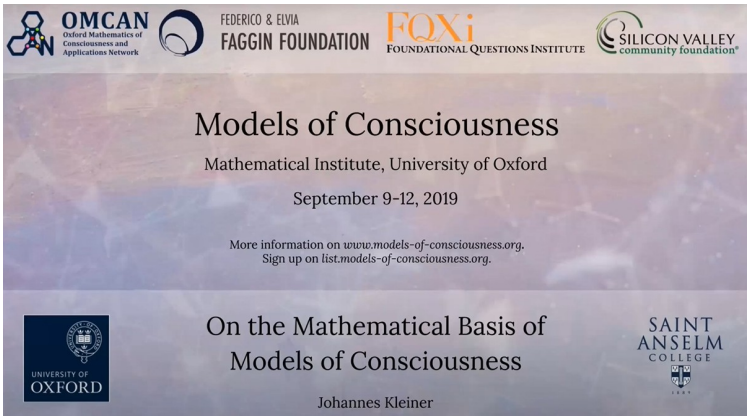



*Рис.3. Семинары Математического института Оксфорда по моделированию сознания.*
*Fig. 3. Oxford Institute of Mathematics workshops on modeling consciousness.*
*圖 3. 牛津數學研究所關於建模意識的研討會。*

Я мог бы приводить здесь также большое количество работ, но за неимением места ограничусь только двумя приведенными примерами. Среди теорий сознания есть, безусловно, фавориты.

В прошлом году был сделан обзор основных таких теорий (Seth & Bayne (2022) Nature Reviews Neuroscience). На схеме из обзора (рис. 4) указаны четыре наиболее крупные популярные теории сознания. Высокоуровневая теория сознания, теория глобального рабочего пространства, теории интегрированный информации и теории повторного входа.

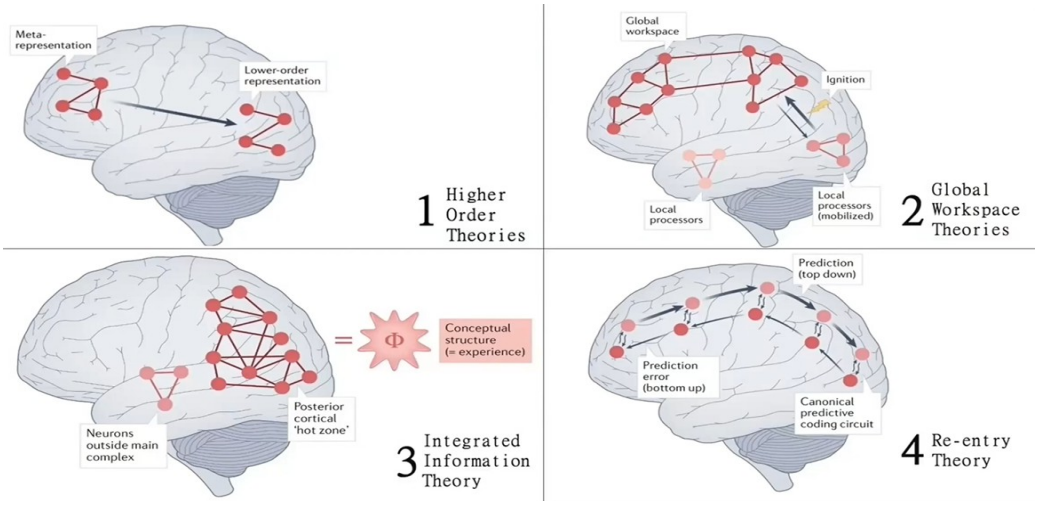



*Рис.4. Популярные теории сознания.*
*Fig. 4. Popular theories of consciousness.*
*圖 4. 流行的意識理論。*

Я не имею возможности рассказывать про каждую из них. Отмечу только, что по многим дискуссиям и обсуждениям, доминирующую позицию сегодня занимают теория глобального рабочего пространства, которая была предложена специалистом в области вычислительной психологии, когнитивной нейронауки Жан-Пьером Шанжё (Jean-Pierre Changeux) и теории интегрированной информации, предложенной итальянским ученым Джулио Тонони (Giulio Tononi), работающим в Америке. Сегодня ситуация продвинулась, таким образом, что был создан крупный проект очень известных ученых (см. рисунок 5), написавших протокол по соревновательному сопоставлению предсказаний двух этих теорий, теории глобального рабочего пространства и теории интегрированной информации


STUDY PROTOCOL

An adversarial collaboration protocol for testing contrasting predictions of global neuronal workspace and integrated information theory

Lucia Melloni[1,2‡*], Liad Mudrik[3,4‡], Michael Pitts[5‡], Katarina Bendtz[6], Oscar Ferrante[7], Urszula Gorska[8], Rony Hirschhorn[4], Aya Khalaf[9,10], Csaba Kozma[8], Alex Lepauvre[1], Ling Liu[11,12], David Mazumder[6], David Richter[13], Hao Zhou[14,15], Hal Blumenfeld[8], Melanie Boly[16], David J. Chalmers[17], Sasha Devore[2], Francis Fallon[18], Floris P. de Lange[13], Ole Jensen[7], Gabriel Kreiman[6,19], Huan Luo[11,12], Theofanis I. Panagiotaropoulos[14], Stanislas Dehaene[14,20‡], Christof Koch[21‡], Giulio Tononi[8‡]

PLOS ONE | https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268577 February 10, 2023

*Рис.5. Протокол по сопоставлению теорий*
*Fig. 5. Protocol for comparing theories*
*圖 5. 理論比較協議*

Сторонники этих теорий собрались, выдвинули предсказание в отношении нервных процессов, которые должны наблюдаться согласно одной и согласно другой теории, которые отличаются, договорились о протоколах. Сейчас началось широкомасштабное исследование в ряде лабораторий мира различающихся предсказаний между этими двумя лидирующими теориями.

Я должен несколько слов сказать о теории интегрированной информации просто потому, что эта теория была сформулирована как математическая теория. В разработке этой теории работ участвует большое количество математиков и специалистов в области теоретической физики. Например, Лариса Албантакис (Larissa Albantakis) специалист в области квантовой физики пришла работать в нейронауку, заниматься теорией сознания. Ну, и так далее. Несколько месяцев назад вышла четвёртая версия этой теории, IIT 4.0, которая отличается от первой, второй и третьей, это работа, которая активно развивается, и я просто отсылаю в данном случае к этой публикации [1], она

значимая. Мы тоже работаем в этом направлении и это движение в значительной степени продиктовано традициями российской физиологической школы, ставившей вопрос о физиологических, материальных основах высших функций мозга с середины 19 века, в начале Иваном Михайловичем Сеченовым, у которого были блестящие теоретические работы, в частности, «Элементы мысли», но не было экспериментальных подходов.




Однако, он многое сделал для теоретических моделей связей в нервной системе, так называемых, естественных групп, чисто постулируемых тогда в 19 веке, групп нейронов, связанных совместной активностью для отражения тех или иных внешних сигналов. Иван Петрович Павлов привнес в эту идею и связи между такими группами условных связей, и экспериментальный метод. Петр Кузьмич Анохин, ученик Павлова, развил Павловское представление об условных рефлексах в системную модель работы мозга, теорию функциональных систем.

Мы пытаемся двигаться дальше по этому пути, представив себе, каким образом многие функциональные системы, выполняющие те или иные виды целенаправленной деятельности мозга, образуют совместно некоторый комплекс, составляющий сущность когнитивного агента, иначе говоря его когнитом. Мы начали работать с этой теорией около 10 лет назад, в [2-5] указаны некоторые вехи в докладах по этой теории на разных конференциях. Сейчас готовится синтетическая публикация по основам этой теории. Я коротко скажу о некоторых аспектах, которые могут иметь интерес для физико-математических подходов. Надо сразу сказать, что эта теория отличается от большинства других теорий. Во-первых, потому, что она начинается не с вопроса сознания, а с вопроса того, что такое разум, и что такое *Я*, которое воспринимает те или иные состояния активности. Во-вторых, эта теория начинается с первых принципов, она не постулирует существующие структуры мозга, которые обеспечивают этот высший уровень интеграции и психической деятельности, а начинает с биологических принципов, не содержащих, никакие психологические термины. Сочетание указанных принципов является начальными условиями, достаточными, чтобы система организмов дарвиновского типа, имеющая в себе сочетание этих первых принципов, начала

постепенно развивать в себе высоко порядковую структуру, являющуюся носителем разума и сознания.

## Теория нейронных гиперсетей

Теория нейронных гиперсетей - алгоритмическая теория происхождения и устройства когнитивных систем, обладающих свойством разума (mind) и сознания (consciousness)




### Принципы существования

Принципы существования выводятся в теории из принципов возникновения и включают три категории объектов: когнитивные нейронные группы, связи между этими группами и образуемый ими когнитивный комплекс - когнитом




*Рис.6. Принципы теории нейронных гиперсетей.*
*Fig. 6. Principles of the theory of neural hypernetworks.*
*圖 6. 神經超網絡理論原理。*

Из этих первых принципов теория выводит принципы возникновения этих высоко порядковых структур, а из первых принципов возникновения теория выводит то, что возникает, то есть структуру, процессы в ней и принципы существования.

Я останавливаюсь сегодня только на последней части теории, на принципах существования. Теория вводит три вида новых объектов, которые

обычно не рассматриваются в нейрофизологическом языке и нейрофизологическом аппарате.

Она вводит понятие когнитивных нейронных групп или ***когов***, связей между этими группами (групповые связи) и образуемый этими двумя видами элементов специальный когнитивный комплекс, который теория обозначает как ***когнитом***. Скажем несколько слов о каждом из этих элементов.

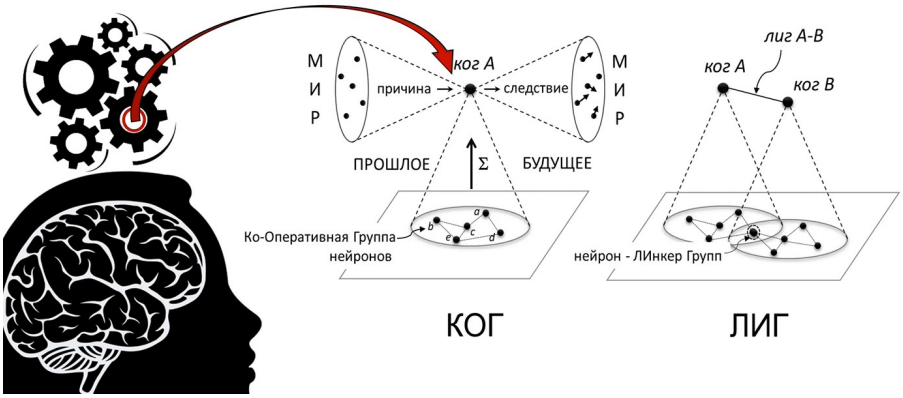



*Рис.7. COG и LIG когнитома*
*Fig. 7. COG and LIG cognitome*
*圖 7. COG 和 LIG 認知組*

Когнитивная группа - это кооперативная группа нейронов, которая в своей совместной активности определяет какой-то аспект соотношения целого организма с тем или иным аспектом окружающего мира, где появление этих аспектов выступает, как причина для активации этой нейронной группы специализированных элементов, а активация этой нейронной группы способна выступать причиной для последующих изменений в поведении или ментальных состояниях других нейронных групп, определяющих динамику нервных процессов, действия и поведения организма.

Такого рода нейронные группы когнитивного уровня, вершины которых кодируют более высоко порядковые понятия, чем отдельные элементы, составляющие группу, связаны между собой линкерами, которые в теории называется лигами. Термин «ког» в теории имеет двойной смысл, с одной стороны это маленький элемент, подчиненная часть целой когнитивной системы, качественно специфического опыта, которая кодируется этой группой.

С другой стороны, это аббревиатура для физически существующей нейронной группы, активность которой и обуславливают этот элемент специфического опыта с его причинно-следственным потенциалом. Термин «лиг» линкер групп отражает специфическую особенность связей в структуре гиперсети.

В отличие от нейронной сети, где связи являются контактами между отдельными клетками, то есть аксонами, проводами, связывающими клетки в нервной системе, в гиперсети, в нейронной гиперсети, связи являются не ребрами сети, а её элементами, общими элементами между двумя группами, который будучи активированным одной группой, способен передать возбуждение (сигнал) на другую группу.

Таблица 1
Table 1
表格 1

***Три фундаментальных понятия ТНГ***

◆ Разум (mind) реален - это специфическая органическая и метематическая структура (К-сеть), опосредующая каузальные соотношения когнитивного агента (К-агента) со средой.

◆ Чтобы описать элементы и свойства этой специфической системы требуется введение новых фундаментальных научных понятий.

| ***№*** | ***Понятия*** | ***Утверждения теории*** | ***Следствия*** |
|---|---|---|---|
| 1 | КОГ (COG): cognitive group (k-unit) | Разум обладает зернистой структурой, он состоит из когнитивных элементов (k-элементов). k-элементы опосредуют каузальные (=информационные) соотношения целостного когнитивного агента с его средой. | Разум ***гранулярен*** |
| 2 | ЛИГ (LIG): links of group (k-unit) | k-элементы образуют между собой устойчивые когнитивные связи (k-связи). k-связи отражают причинные связи элементов и процессов в среде и в соотношения когнитивного агента с ней. | Элементы разума ***увязаны*** |
| 3 | КОГНИТОМ (cognitome): cognitive network | k-элементы и k-связи образуют единую когнитивную сеть (k-сеть). k-сеть является носителем субъективного опыта когнитивного агента. | Разум ***системен*** |

Таким образом, теория вносит три фундаментальные понятия, когнитивных групп, линкеров когнитивных групп и единой когнитивной сети, которая является носителем всего субъективного опыта когнитивного агента. Теория выделяет три вида элементов в такой гиперсети и важными элементами в них являются микрогруппы, возникающие на перекрытии больших групп.

## Нейронная гиперсеть состоит из трех видов элементов

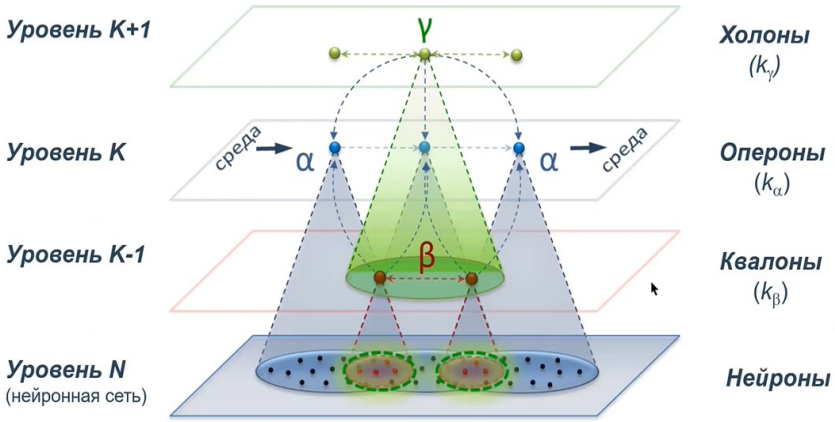
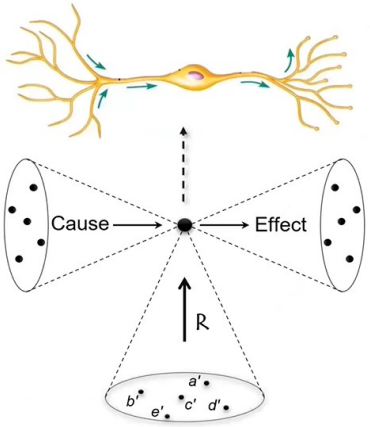



*Рис.8. Нейронная гиперсеть*
*Fig. 8. Neural hypernetwork*
*圖 8. 神經超網絡*

Эти микрогруппы имеют свойство того, что специализируясь в этих больших системах, нейроны способны служить как бы каналами связи между многими системами. И если речь идет о сознании, то теория говорит, что когда возникает такого рода гиперсеть со специализированными элементами, возбуждения способны перкалировать в этой сети.

## Один нейрон, как минимальный когнитивный элемент




- Минимальным когнитивным элементном (КОГом) является один когнитивно специализированный нейрон
- Активность совокупности нейронов, активирующих эту клетку, является "*причиной*" для этого кога
- Группа нейронов, в активацию которых вносит вклад эта клетка, является *эффектом* этого кога

*Рис.9. Минимальный когнитивный элемент нейрон*
*Fig. 9. Minimal cognitive element neuron*
*圖 9. 最小認知元神經元*

Таким образом, при возбуждении одного элемента, относящегося ко многим системам, возбуждаются одновременно тысячи и десятки тысяч подобных элементов в том или ином состоянии активности мозга, возникает глобальный охват всего и элементов, и единиц опыта, накопленных субъектом, то есть его Я. Это и есть процесс осознания.

## Нейронный когнитивный код

***Мельница Лейбница***

"Если мы вообразим себе машину, устройство которой производит мысть, чувство и восприятие, то можно будет представить ее себе в увеличенном виде с сохраннением тех же отношений так, что можно будет входить в нее как в мельницу. Предположив это, мы при осмотре ее не найдем ничего внутри нее, кроме частей , толкающих одна другую, и ***никогда не найдем ничего такого, чем можно было бы объяснить восприятие"***

*Готфрид Вильгельм Лейбниц*
*"Монадология"* (1714)

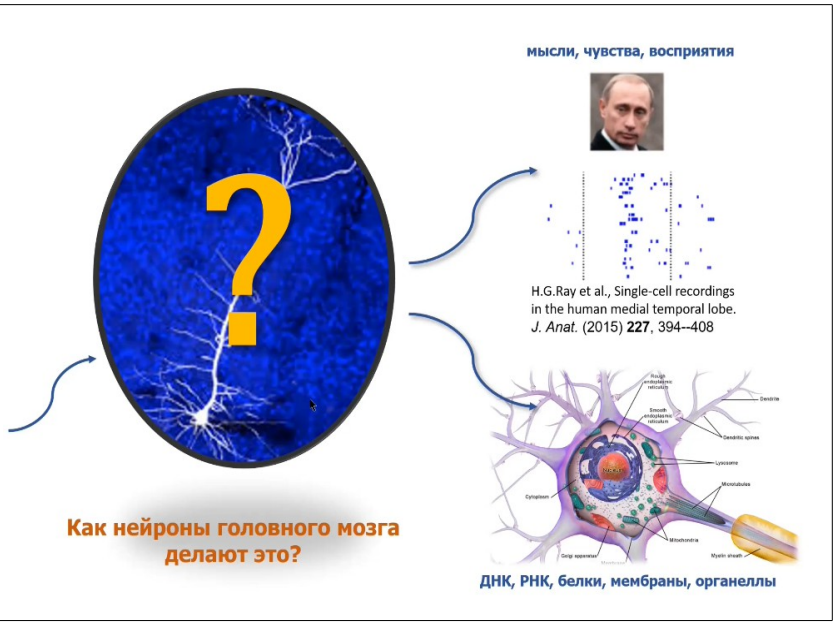



*Рис. 10. Нейронный когнитивный код*
*Fig. 10. Neural cognitive code*
*圖 10. 神經認知程式碼*

Мы, конечно, работаем в этой области, как нейробиологи, нейрофизиологи, нас интересует возможность и предсказания того, что минимальным, когнитивным элементом является отдельный нейрон, способный входя в разные когнитивные сообщества, нести в себе специализации общие для этой категории.

Кодирование такого когнитивного опыта отдельными клетками опускает весь процесс когнитивной системы и ее формирования на уровень отдельных клеток и молекулярных процессов в них. И это то, что нас интересует.

## Суперпозиция разных функциональных систем на клетках глубоких слоёв нейронной сети

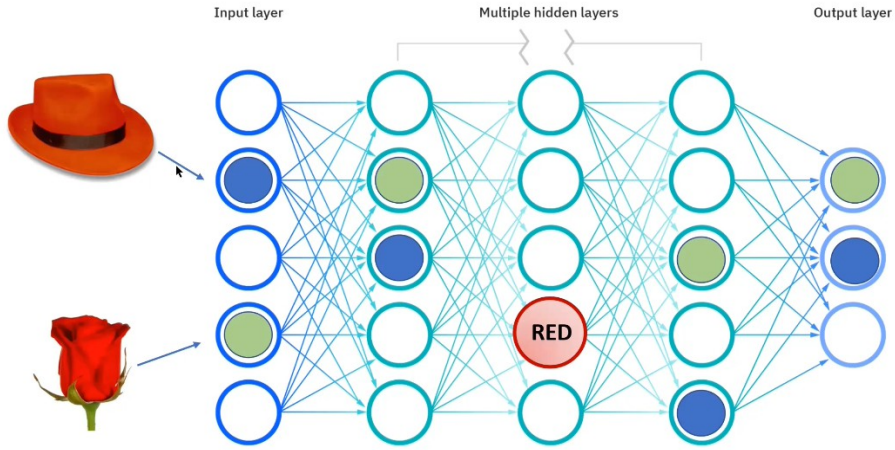
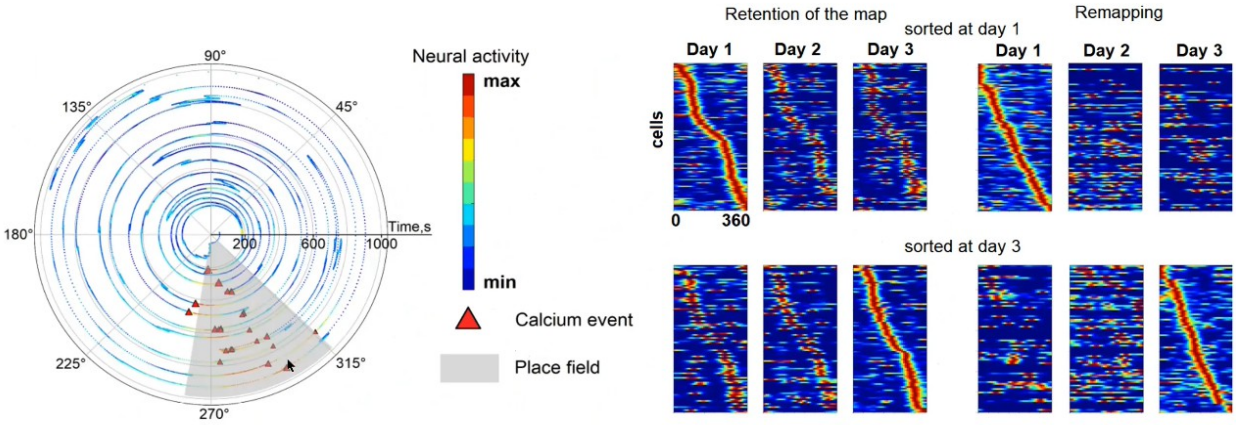



*Рис. 11. Суперпозиция функциональных систем*
*Fig. 11. Superposition of functional systems*
*圖 11. 功能係統的疊加*

У нас есть гипотезы, каким образом это происходит, что это происходит за счет суперпозиции разных функциональных систем, например, одной и второй, показанной действия цветами, когда общий элемент для этих двух систем может отражать некоторую активацию, связанную с тем или иным аспектом окружающего мира.




Быстрое (одномоментное?) возникновение когнитивной специализации нейрона

Долговременное сохранение быстро возникших когнитивных специализаций нейронов

*Рис. 12. Когнитивная специализация нейрона*
*Fig. 12. CyCognitive neuron specialization*
*圖 12. 認知神經元特化*

В данном случае две совершенно разные функциональные группы нейронов имеют общий аспект цвета красного цвета, который и специализирует

данный нейрон относительно этих свойств.

Мы исследуем это методами регистрации активности клеток в мозге экспериментальных животных. Мы показываем, что такого рода специализации когнитивного вида, например, специализация активности нейрона относительно одного места в среде, может происходить быстро, практически с первого раза, когда животные попадают в эту обстановку и сохраняются очень долго.

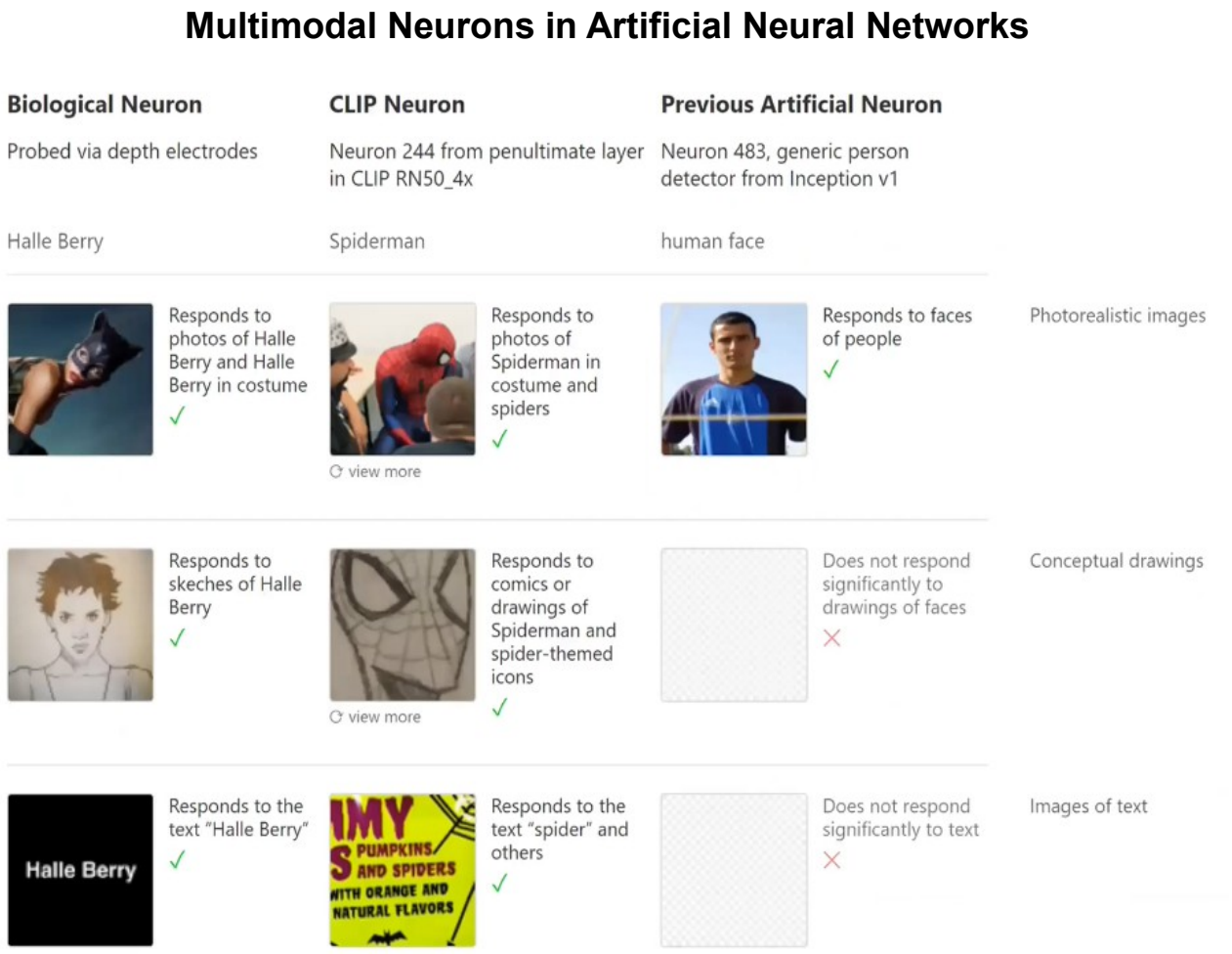



*Рис. 13. Мультимодальные нейроны в искусственных нейронных сетях*
*Fig. 13. Multimodal Neurons in Artificial Neural Networks*
*圖 13. 人工神經網路中的多模態神經元*

Примечательно, что в искусственных нейронных сетях выявлены такого же рода мультимодальные нейроны, это, например, работа компании OpenAI, исследовавшая специализацию клеток в глубоких слоях глубоких нейронных сетей и выявившие, что и в искусственных нейронных сетях, что ставит

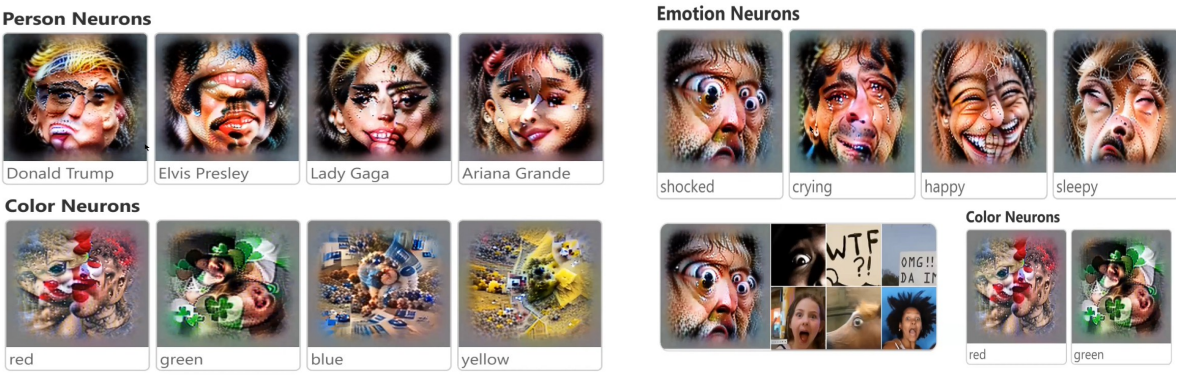



*Рис. 14. Специализация нейронов*
*Fig. 14. Neuron specialization*
*圖 14. 神經元特化*

серьезные глубокие вопросы, появляются нейроны, имеющие специализацию относительно отдельных личностей, отдельных цветов, отдельных эмоциональных выражений и так далее.

Ну, и последнее, о чем следует сказать, хотя нас, как нейрофизиологов, интересуют концептуальные основы и нейробиологические основы, тем не менее, стоит задача формализации этих систем и процессов в них.

## Теория нейронных гиперсетей

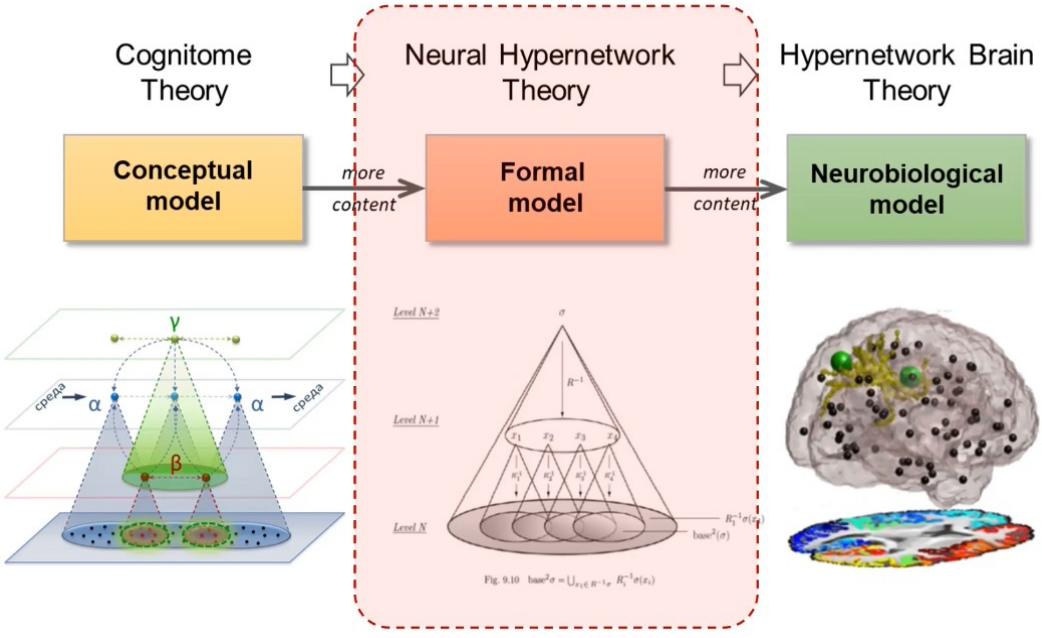
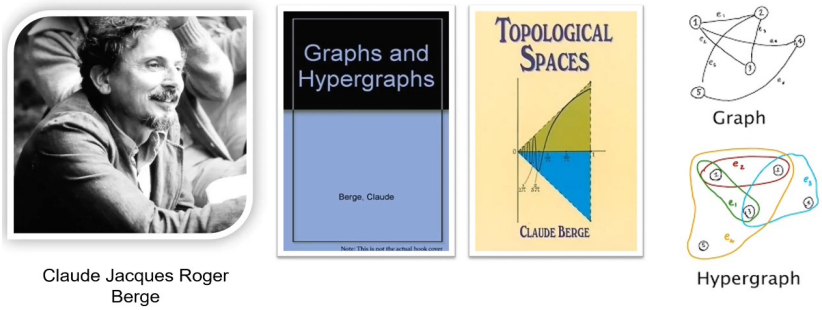



*Рис. 15. Нейронные гиперсети*
*Fig. 15. Neural hypernetworks*
*圖 15. 神經超網絡*

В начале работы над теорией в 2019 году я исходил из того, что сеть, которую мы изучаем, то есть когнитом, является когнитивной сетью, которая может соотноситься с нервной сетью, но очень быстро в течение первого года стало ясно, что это тупиковое решение: нельзя соотносить две сети, одна из которых не материальная, а вторая материальная. Необходим единый объект, который имеет две стороны, который является дуалом. Стало ясно, что сеть не подходит по ряду причин для описания такого объекта, потому что она исследует попарное отношение между элементами, а здесь я показывал это группы, объединяемые в новое свойство и, второе, что она не описывает высокопорядковых свойств. И стало ясно, что надо двигаться в сторону более сложных систем и математических моделей.




Стало ясно, что гиперграфы, веденные Бержем, также не являются подходящим понятием. И мы в 2014 году пришли к тому, что формальным описанием такого рода систем, которые мы видим, является гиперсети.

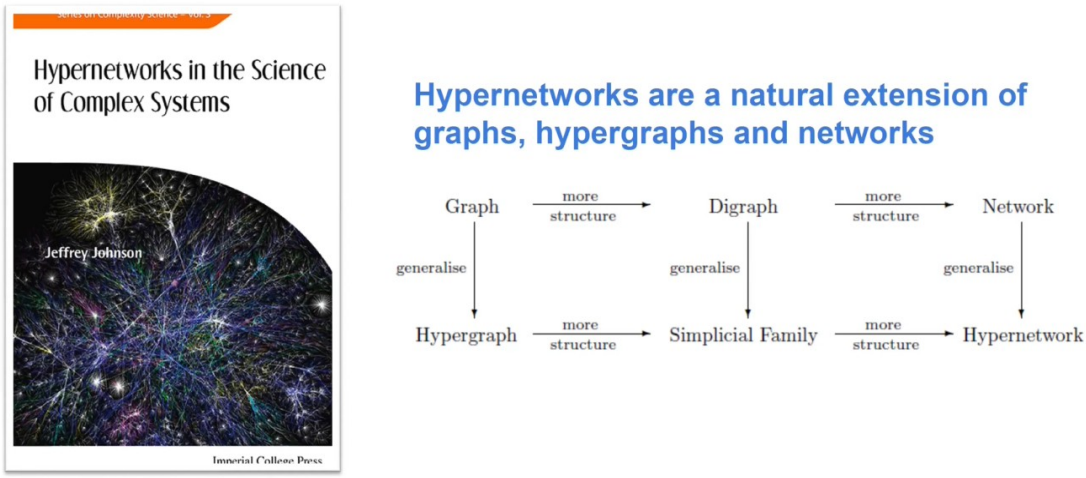



*Рис. 16. Гиперсети*
*Fig. 16. Hypernetworks*
*圖 16. 超網路*

В последнее время специалисты в области сети тоже пришли к этому, начиная с последних с 16-17-го года, назвав этот же объект высокопорядковыми

сетями. В обоих случаях речь идет об одном и том же и требует существенного дальнейшего исследования именно в нейронауке.

Поэтому я завершаю свой доклад первым слайдом.




*Рис. 17. Последний слайд доклада*
*Fig. 17. Last slide of the report*
*圖 17. 報告的最後一張幻燈片*

Мы работаем на уровне теории высших структур и функций мозга. Мы формализуем это как понятие нейронные гиперсети или высокопорядковые сети. Мы считаем, что мозг представляет собой именно такую гиперсеть, а не низко уровневую первопорядковую нейронную сеть, так как это исследуется сегодня. И что сознание представляет собой специфический процесс в этой структуре, существующий только, когда эта структура развивается под влиянием опыта и обучения. Суть этого процесса безусловно загадочна, но мы думаем, что она может быть описана подходами перколяции, но в обоих случаях и структур, и процесса, нам совершенно очевидно, что необходимо сотрудничать со специалистами в области математики и теоретической физики и мы приглашаем к такому сотрудничеству.

Dear Colleagues! Thank you very much for the invitation to speak at this wonderful Congress, which brings together specialists in the field of systems biology and systems theory, as well as mathematics and artificial intelligence. My area of research lies precisely at the crossroads of these disciplines. This is the neurophysiology of higher brain functions. It turns out that in recent years it has been associated with the development of new mathematical approaches. And I would like today to talk about this area and the theory with which we are working and to invite and ask for cooperation from specialists in the field of mathematics, because this is what is happening now in the world and what is required for the progress of our understanding of how the brain gives birth to the process of

consciousness. I'll start right away with a summary that summarizes the main points of the report. Today we will talk about neural hypernetworks and processes of consciousness, according to the theory of neural hypernetworks with which we work. Consciousness is a specific process in a specifically organized structure. This is the structure of a neural hypernetwork. At least that's how it can be described in formal language. And the specific process is the process of global percolation of activity in this network. And we, as neurophysiologists, are interested in the joint study of this structure, an organic and at the same time mathematical structure, and this process, on the one hand physiological, cognitive, on the other hand, informational with the help of physical and mathematical sciences. I'll start by defining consciousness and why it's such an important topic today. Next, I will move on to the fact that you can understand this topic only with the help of theory. And that in recent years the role of mathematics and theoretical physics in theoretical studies of higher functions of the brain, including consciousness, is becoming greater and greater. Next, I will give some overview of the problematic situation. Today there are a large number of theories of consciousness, I will highlight the physical and mathematical direction in them, analyzing some of these theories. And finally, in the third part, I will talk about the theory with which we work and which we call the theory of neural hypernetworks or hypernetwork theory of the brain, I will talk about some principles of the structure of this structure, as it appears to us as neurophysiologists. And, briefly, that consciousness is a special type of traffic in this specific structure, which differs from the concepts known to us in the theories of neural networks.

So, the definition of consciousness. Consciousness is a term that has many meanings throughout history. However, recently there has been some consensus in the scientific community in defining the fundamental characteristics of consciousness, defined as any subjective experience generated either from within a system or in response to an external circumstance, which includes both high-order thoughts, plans, ideas , as well as emotional feelings and sensations. In short, everything that is felt by the subject. Our outstanding philosopher of consciousness, David Izrailevich Dubrovsky, once defined this as an encompassing term of subjective reality. This definition differs significantly from the definitions and understanding of consciousness that were given previously. For example, in a large encyclopedic dictionary, consciousness was defined 25 years ago as the highest form of mental reflection, which is characteristic of a socially developed person, associated with speech, the ideal side of goal-setting activity. Then, according to these ideas, only a person can have consciousness. Today, the situation and the focus of consciousness research have shifted significantly. But before talking about it, we need to formulate the very essence of the problem of consciousness. In principle, Ivan Petrovich Pavlov formulated it very sharply in one phrase about a hundred years ago. How does brain matter give rise to subjective phenomena? David Izrailevich Dubrovsky gave a more detailed definition of this problem, formulating it in two questions. How to explain the connection between the phenomena of subjective reality and brain processes, if the former cannot be attributed physical properties, and the latter necessarily possess them? And the second question is, if physical properties cannot be attributed to the phenomena of subjective reality, then how to explain their ability to cause a causal effect on bodily processes. It must be said that despite the fact that a huge number of philosophers have been studying this problem, thousands of books have been

written, in relation to both the first and second questions this is an open scientific problem. Neuroscience plays a significant role in the study of these issues today. Now let's talk about the importance of consciousness proposed in such a fundamental formulation. If we are talking about sensations, subjective experience, any experiences, including emotional reactions, then we must begin to consider consciousness as a broad natural phenomenon that is present not only in humans, but also in other animals. And today, also with the development of the artificial intelligence system, the question of consciousness in the artificial intelligence system is becoming more and more pressing. A number of advanced groups in various centers and companies are now modeling not just artificial intelligence, but artificial consciousness. This can be illustrated by two recent conferences. One of them took place in early May 2023 and was called the Animal Consciousness Conference 2023, Dharamshala, May 1-5. It brought together specialists from a dozen countries, leading experts in the field of consciousness research in the biological world, and the consensus that is reached in these kinds of conferences is that a large number of animals that we previously did not think of as beings with consciousness possess this phenomenal property, which I defined above. These are not only primates, these are not only dolphins and higher mammals with highly developed brains: elephants, whales, killer whales, and so on. These are birds, these are a number of species of cephalopods, such as octopuses and cuttlefish. I'm missing many other mammals. These are arthropods, bees, bumblebees, and other types of insects. Consciousness is widespread in the biological world.

The second conference, which traditionally takes place every year since 1994, a major conference called the Science of Consciousness, was held in Italy in Taormina (The Science of Consciousness 2023, Taormina, May, 22-27). A large number of reports were heard there. Here are some of their illustrations. At the conference on animal consciousness, for example, there was an amazing paper by Mosanori Kohda, published some time ago (Masanori Kohda “Cleaner fish identify themselves via self-face recognition like humans: What does this mean?”, Osaka Metropolitan University, Osaka, Japan), showing that cleaner fish are able to identify themselves and recognize themselves in the mirror. In the same way as is done by humans and some great apes. This is amazing data that forces us to be attentive, to look completely differently at the spread of the phenomenon of consciousness in the natural world. On the other hand, the key lecture at the Taormina conference was given by David Chalmes, its title: “Are Large Language Models Capable of Being Conscious?” (David Chalmers “Could a Large Language Model be Conscious?”, NYU, New York, USA). There he reviewed the arguments for and against. There is no consensus on this issue. There are different points of view, but this question stands. Thus, we see how relevant it is today to understand the fundamental principles of the organization of consciousness. And to understand them, purely experimental studies are not enough; the amount of facts accumulated in neuroscientific research is enormous. But they have not yet led to the holy grail, which was proclaimed about 30 years ago by Nobel laureate Francis Crick and his colleague Christoph Koch - to find the neural or neural correlates of consciousness. There is still no reliable neural correlate of consciousness. And this is partly understandable, because only theory will allow us to decide what is observed in experiment and predict what kind of correlates should be looked for. You cannot refuse to build a theory at the beginning of your journey. This will prove detrimental to the evaluation of the

experimental results. “When we say that we understand the totality of natural phenomena,” Einstein wrote, we mean that we have found a constructive theory that embraces them.” And, indeed, with the gradual disappointment in purely empirical experimental studies in the search for certain neural correlates of consciousness, in recent decades there has been a literally explosion in the number of theories of consciousness.

*Fig. 1. Growth in the number of publications on theories of consciousness*

This shows an increase in the number of publications that include the keywords consciousness and theory from 1971 to 2021, but if you look simply at the 21-22 years of work covering this field, you will see that synthetic meta-analyses of a huge number of theories have appeared. There are definitely more than 30 of these theories today, maybe about 50. And questions arise about how to compare these theories. There are quite a lot of works on this topic.

*Fig. 2. Leading theories of consciousness according to conference participants in Taormina (The Science of Consciousness 2023, Taormina, May, 22-27)*

At the mentioned conference in Italy, in Taormina in May 2023, a special competition was even organized - a vote of all conference participants, of whom there were more than 500 scientists, with the choice of their preferred theory of consciousness. In Figure 2 above, only 18 theories are listed, there is some arbitrariness of the organizers in what theories they chose, but this is the essence. One of the speakers at this conference, together with her colleagues, a year ago proposed a special database, called Contrast, for analyzing and comparing empirical studies of certain theories of consciousness.

It is clear that the region is flourishing and, perhaps, after some time there will even be a crisis of overproduction.

Another important line that has been emerging in recent years is the development of the physical and mathematical direction in the study of consciousness. It becomes clear that consciousness, as a state and processes in complex systems, requires analysis of a variety of mathematical positions. This is a mathematical object and information process, depending on the views of certain authors.

Here are the names of a number of presentations by famous experts at the seminar “Mathematical Consciousness Science”, which is regularly held online (https://seminar.math-consciousness.org).

***Carlo Rovelly*** “Understanding consciousness within the known lows of physics three small contributions”,

***Karl Friston*** “Markov blankets and Boyesion mechanics”,

***Stephen Wolfram*** “How Features of Our Consciousness Seem to Define Our

Lows of Physics and Mathematics",

***Nao Tsuchiya*** "A search for an isomorphism between conscious experience and structure of information".

Another example is from the Oxford Institute of Mathematics, which runs workshops on mathematical models and the foundations of consciousness (Fig. 3).

*Fig. 3. Oxford Institute of Mathematics workshops on modeling consciousness.*

I could also cite a large number of works here, but due to lack of space I will limit myself to only two examples given. Among theories of consciousness there are, of course, favorites.

The main such theories were reviewed last year (Seth & Bayne (2022) Nature Reviews Neuroscience). The diagram from the review (Fig. 4) shows the four largest popular theories of consciousness. High-level theory of consciousness, global workspace theory, integrated information theory, and reentry theory.

*Fig. 4. Popular theories of consciousness.*

I don't have the opportunity to talk about each of them. I will only note that in many discussions and debates, the dominant position today is occupied by the theory of the global workspace, which was proposed by a specialist in the field of computational psychology and cognitive neuroscience Jean-Pierre Changeux and the theory of integrated information proposed by the Italian scientist Giulio Tononi (Giulio Tononi), working in America. Today the situation has advanced in such a way that a large project has been created by very famous scientists (see Figure 5), who have written a protocol for competitively comparing the predictions of these two theories, global workspace theory and integrated information theory

*Fig. 5. Protocol for comparing theories*

Proponents of these theories gathered, made predictions regarding the neural processes that should be observed according to one theory and according to the other, which differ, and agreed on protocols. A large-scale study has now begun in a number of laboratories around the world regarding the differing predictions between these two leading theories.

I must say a few words about integrated information theory simply because this theory was formulated as a mathematical theory. A large number of mathematicians and specialists in the field of theoretical physics are involved in the development of this theory of work. For example, Larissa Albantakis, a specialist in the field of quantum physics, came to work in neuroscience, to study the theory of consciousness. Well, and so on. A few months ago, the fourth version of this theory, IIT 4.0, was

released, which differs from the first, second and third, this is work that is actively being developed, and I simply refer in this case to this publication [1], it is significant. We are also working in this direction, and this movement is largely dictated by the traditions of the Russian physiological school, which raised the question of the physiological, material foundations of the higher functions of the brain since the mid-19th century, at the beginning of Ivan Mikhailovich Sechenov, who had brilliant theoretical works, in particular, “ Elements of Thought", but there were no experimental approaches.

However, he did a lot for theoretical models of connections in the nervous system, the so-called natural groups, purely postulated then in the 19th century, groups of neurons connected by joint activity to reflect certain external signals. Ivan Petrovich Pavlov brought to this idea both the connections between such groups of conditional connections and the experimental method. Pyotr Kuzmich Anokhin, Pavlov's student, developed Pavlov's idea of conditioned reflexes into a systemic model of brain function, the theory of functional systems.

We are trying to move further along this path by imagining how many functional systems that perform certain types of purposeful brain activity together form a certain complex that constitutes the essence of a cognitive agent, in other words, its cognitome. We started working with this theory about 10 years ago; in [2-5] some milestones are indicated in reports on this theory at various conferences. A synthetic publication on the basics of this theory is currently being prepared. I will briefly talk about some aspects that may be of interest for physical and mathematical approaches. It must be said right away that this theory is different from most other theories. Firstly, because it begins not with the question of consciousness, but with the question of what the mind is, and what the Self is, which perceives certain states of activity. Secondly, this theory begins from first principles; it does not postulate existing brain structures that provide this highest level of integration and mental activity, but begins from biological principles that do not contain any psychological terms. The combination of these principles is the initial conditions sufficient for a system of organisms of the Darwinian type, which has a combination of these first principles, to gradually begin to develop within itself a high-order structure that is the bearer of intelligence and consciousness.

*Fig. 6. Principles of the theory of neural hypernetworks.*

From these first principles, the theory deduces the principles of the emergence of these high-order structures, and from the first principles of emergence, the theory deduces what arises, that is, the structure, the processes in it and the principles of existence.

Today I dwell only on the last part of the theory, on the principles of existence. The theory introduces three types of new objects that are not usually considered in neurophysiological language and neurophysiological apparatus.

She introduces the concept of cognitive neural groups or cogs, connections between these groups (group connections) and a special cognitive complex formed by these two types of elements, which the theory designates as a cognitome. Let's say a few words about each of these elements.

*Fig. 7. COG and LIG cognitome*

A cognitive group is a cooperative group of neurons, which, in its joint activity, determines some aspect of the relationship of the whole organism with one or another aspect of the surrounding world, where the appearance of these aspects acts as a reason for the activation of this neural group of specialized elements, and the activation of this neural group can act as a cause for subsequent changes in behavior or mental states of other neural groups that determine the dynamics of nervous processes, actions and behavior of the body.

These kinds of cognitive-level neural groups, the vertices of which encode higher-order concepts than the individual elements that make up the group, are interconnected by linkers, which in theory are called leagues. The term “cog” in theory has a double meaning: on the one hand, it is a small element, a subordinate part of an entire cognitive system, a qualitatively specific experience, which is encoded by this group.

On the other hand, it is an abbreviation for a physically existing neural group, the activity of which determines this element of a specific experience with its cause-and-effect potential. The term “lig” linker groups reflects the specific feature of the connections in the structure of the hypernet.

Unlike a neural network, where connections are contacts between individual cells, that is, axons, wires connecting cells in the nervous system, in a hypernetwork, in a neural hypernetwork, connections are not edges of the network, but its elements, common elements between two groups, which being activated by one group, it is able to transmit excitation (signal) to another group.

Three fundamental concepts of TNG

The mind is real - it is a specific organic and methematic structure (K-network) that mediates the causal relationships of the cognitive agent (K-agent) with the environment.

To describe the elements and properties of this specific system requires the introduction of new fundamental scientific concepts.

Table 1

Thus, the theory introduces three fundamental concepts, cognitive groups, linkers of cognitive groups and a single cognitive network, which is the bearer of all the subjective experience of a cognitive agent. The theory identifies three types of elements in such a hypernetwork, and the important elements in them are

microgroups that arise on the overlap of large groups.

*Fig. 8. Neural hypernetwork*

These microgroups have the property that, specializing in these large systems, neurons are able to serve as communication channels between many systems. And if we are talking about consciousness, then the theory says that when this kind of hypernetwork with specialized elements arises, excitations are capable of percalating in this network.

*Fig. 9. Minimal cognitive element neuron*

Thus, when one element related to many systems is excited, thousands and tens of thousands of similar elements are simultaneously excited in one or another state of brain activity, a global coverage of all elements and units of experience accumulated by the subject, that is, his Self, arises. there is a process of awareness.

*Fig. 10. Neural cognitive code*

We, of course, work in this area, as neurobiologists, neurophysiologists, we are interested in the possibility and predictions that the minimum cognitive element is a single neuron, capable of entering different cognitive communities and carrying specializations common to this category.

The encoding of such cognitive experience by individual cells brings the entire process of the cognitive system and its formation down to the level of individual cells and the molecular processes in them. And this is what interests us.

*Fig. 11. Superposition of functional systems*

We have hypotheses about how this happens, that this occurs due to the superposition of different functional systems, for example, one and the other,

actions shown by colors when a common element for these two systems may reflect some activation associated with one or another aspect of the surrounding world.

*Fig. 12. CyCognitive neuron specialization*

In this case, two completely different functional groups of neurons have a common color aspect of red, which specializes this neuron with respect to these properties.

We study this by recording cell activity in the brains of experimental animals. We show that this kind of specialization of a cognitive type, for example, the specialization of neuron activity relative to one location in the environment, can occur quickly, almost from the first time animals enter this environment, and persist

for a very long time.

*Fig. 13. Multimodal Neurons in Artificial Neural Networks*

It is noteworthy that the same kind of multimodal neurons have been identified in artificial neural networks; this is, for example, the work of the OpenAI company, which studied the specialization of cells in the deep layers of deep neural networks and revealed that in artificial neural networks, which puts

*Fig. 14. Neuron specialization*

serious deep questions, neurons appear having specializations regarding particular personalities, particular colors, particular emotional expressions, and so on. Well, the last thing that should be said is that although we, as neurophysiologists, are interested in the conceptual foundations and neurobiological foundations, nevertheless, we face the task of formalizing these systems and the processes in them.

*Fig. 15. Neural hypernetworks*

When I started working on the theory in 2019, I assumed that the network we were studying, the cognitome, was a cognitive network that could be correlated with a neural network, but very quickly within the first year it became clear that this was a dead end: it is impossible to correlate two networks, one of which is not material, and the second is material. What is needed is a single object that has two sides, which is a dual. It became clear that the network is not suitable for a number of reasons for describing such an object, because it explores the pairwise relationship between elements, and here I showed these groups being combined into a new property and, secondly, that it does not describe high-order properties. And it became clear that we need to move towards more complex systems and mathematical models.

It became clear that hypergraphs, as introduced by Berge, were also not a suitable concept. And in 2014 we came to the conclusion that the formal description of this kind of systems that we see is hypernetworks.

*Fig. 16. Hypernetworks*

Recently, network specialists have also come to this conclusion, starting from the last 16-17 years, calling the same object high-order networks. In both cases we are talking about the same thing and requires significant further research in neuroscience.

Therefore, I conclude my report with the first slide.

*Fig. 17. Last slide of the report*

We work at the level of theory of higher structures and functions of the brain. We formalize this as the concept of neural hypernetworks or high-order networks. We believe that the brain is just such a hypernetwork, rather than a low-level first-order neural network, as is being researched today. And that consciousness is a specific process in this structure, existing only when this structure develops under the influence of experience and learning. The essence of this process is certainly mysterious, but we think that it can be described by percolation approaches, but in both cases of structures and process, it is quite clear to us that it is necessary to cooperate with specialists in the field of mathematics and theoretical physics and we invite such cooperation.

親愛的同事們！ 非常感謝您受邀在這次精彩的大會上發言，這次大會匯集了系統生物學和系統理論以及數學和人工智慧領域的專家。 我的研究領域恰恰位於這些學科的十字路口。 這是高級大腦功能的神經生理學。 事實證明近年來它與新數學方法的發展有關。 今天我想談談這個領域和我們正在研究的理論，並邀請和請求數學領域專家的合作，因為這就是世界上正在發生的事情，也是進步所需要的我們對大腦如何產生意識過程的理解。 我將立即開始總結報告的要點。 今天，我們將根據我們所研究的神經超網絡理論來討論神經超網絡和意識過程。 意識是特定組織結構中的特定過程。 這就是神經超網路的結構。 至少用正式語言可以這麼描述。 而具體的過程就是這個網路中活動的全域滲透的過程。 身為神經生理學家，我們對這種結構的共同研究感興趣，這種結構是一種有機的、同時也是數學的結構，而這個過程一方面是生理的、認知的，另一方面是在物理和認知的幫助下提供資訊的。數學科學。 我將首先定義意識以及為什麼它是今天如此重要的主題。 接下來，我將繼續說明您只能藉助理論來理解這個主題。 近年來，數學和理論物理學在包括意識在內的大腦高級功能的理論研究中的作用變得越來越大。 接下來，我將概述一下有問題的情況。 今天有大量的意識理論，我將突出其中的物理和數學方向，分析其中的一些理論。 最後，在第三部分中，我將討論我們所使用的理論，我們稱之為神經超網絡理論或大腦超網絡理論，我將討論這種結構的一些原理，因為它看起來對於我們作為神經生理學家來說。 簡而言之，意識是這種特定結構中的一種特殊類型的流量，它與我們在神經網路理論中已知的概念不同。

所以，意識的定義。 意識是一個在歷史上有多種意義的術語。 然而，最近科學界在定義意識的基本特徵方面達成了一些共識，意識被定義為系統內部或響應外部環境而產生的任何主觀體驗，其中包括高階思想、計劃、想法，以及情感感受和感覺。 簡而言之，就是主體所感受到的一切。 我們傑出的意識

哲學家大衛·伊茲萊耶維奇·杜布羅夫斯基（David Izrailevich Dubrovsky）曾將其定義為主觀現實的包羅萬象的術語。 這個定義與之前給出的意識的定義和理解有很大不同。 例如，在一本大型百科全書詞典中，意識在 25 年前被定義為心理反映的最高形式，這是社會發展的人的特徵，與言語相關，是目標設定活動的理想方面。 那麼，根據這些想法，只有人才能擁有意識。 如今，意識研究的情況和重點已經發生了重大變化。 但在討論它之前，我們需要先闡明意識問題的本質。 原則上，伊凡彼得羅維奇巴甫洛夫在大約一百年前用一句話非常尖銳地表述了這一點。 大腦物質如何產生主觀現象？ David Izrailevich Dubrovsky 對這個問題給出了更詳細的定義，將其表述為兩個問題。 如果主觀現實現象與大腦過程不能歸因於物理屬性，而後者必然具有物理屬性，那麼如何解釋主觀現實現象與大腦過程之間的關聯？ 第二個問題是，如果物理特性不能歸因於主觀現實的現象，那麼如何解釋它們對身體過程造成因果影響的能力。 必須說，儘管有大量的哲學家一直在研究這個問題，已經寫了數千本書，但就第一個問題和第二個問題而言，這是一個開放的科學問題。 神經科學在當今這些問題的研究中發揮著重要作用。 現在讓我們來談談在這樣一個基本表述中提出的意識的重要性。 如果我們談論的是感覺、主觀經驗、任何經驗，包括情緒反應，那麼我們必須開始將意識視為一種廣泛的自然現象，它不僅存在於人類身上，也存在於其他動物身上。 而今天，同樣隨著人工智慧系統的發展，人工智慧系統的意識問題變得越來越迫切。 各個中心和公司的許多先進團隊現在不僅對人工智慧進行建模，而且對人工意識進行建模。 最近的兩次會議可以說明這一點。 其中一場於 2023 年 5 月初舉行，名為“2023 年動物意識會議”，於 5 月 1 日至 5 日在達蘭薩拉舉行。 它匯集了來自十幾個國家的專家，生物界意識研究領域的頂尖專家，這類會議達成的共識是，大量我們以前不認為是生命體的動物意識擁有我上面定義的這種現象屬性。 這些不僅是靈長類動物，不只是海豚，還有大腦高度發達的高等哺乳動物：大象、鯨魚、虎鯨等等。 這些是鳥類，是多種頭足類動物，例如章魚和墨魚。 我錯過了許多其他哺乳動物。 這些是節肢動物、蜜蜂、大黃蜂和其他類型的昆蟲。 意識在生物世界中廣泛存在。

第二次會議自 1994 年起每年舉行一次，這是一個名為“意識科學”的重要會議，在義大利陶爾米納舉行（“意識科學 2023”，陶爾米納，5 月 22-27 日）。 那裡聽到了大量的報告。 這是他們的一些插圖。 例如，在動物意識會議上，前一段時間發表了 Mosanori Kohda 的一篇令人驚嘆的論文（Masanori Kohda“清潔魚像人類一樣通過自我面部識別來識別自己：這是什麼意思？”，大阪都立大學，日本大阪），表明清潔魚能夠識別自己並在鏡子中認出自己。 就像人類和一些類人猿所做的那樣。 這是令人驚嘆的數據，迫使我們集中註意力，以完全不同的方式看待自然世界中意識現象的傳播。 另一方面，陶爾

米納會議的主題演講由 David Chalmes 做，題目是：“大型語言模型能夠有意識嗎？” （David Chalmers“大型語言模型可以有意識嗎？”，紐約大學，紐約，美國）。 在那裡，他回顧了支持和反對的論點。 在這個問題上尚未達成共識。 有不同的觀點，但這個問題是成立的。 因此，我們看到今天理解意識組織的基本原則是多麼重要。 要理解它們，純粹的實驗研究是不夠的；神經科學研究中累積的事實數量是巨大的。 但它們尚未實現諾貝爾獎得主弗朗西斯·克里克和他的同事克里斯托夫·科赫大約 30 年前宣布的聖杯——找到意識的神經或神經關聯。 意識仍然沒有可靠的神經關聯。 這在某種程度上是可以理解的，因為只有理論才能讓我們決定在實驗中觀察到什麼，並預測應該尋找什麼樣的相關性。 你不能拒絕在旅程開始時建立一個理論。 這將不利於實驗結果的評估。 愛因斯坦寫道：“當我們說我們理解了自然現象的整體時，我們的意思是我們已經找到了包含它們的建設性理論。” 事實上，隨著尋找意識的某些神經相關性的純粹經驗實驗研究逐漸令人失望，近幾十年來，意識理論的數量出現了真正的爆炸性增長。

*圖 1. 意識理論出版數量的成長*

這表明從 1971 年到 2021 年，包含關鍵字「意識」和「理論」的出版物數量有所增加，但如果你簡單地看一下涵蓋該領域的 21-22 年的工作，你會發現大量的綜合薈萃分析的理論已經出現。 如今這些理論肯定超過 30 種，也許大約 50 種。如何比較這些理論的問題就出現了。 關於這個主題有很多作品。

*圖 2. 陶爾米納會議參與者認為領先的意識理論*
*（《意識科學 2023》，陶爾米納，5 月 22-27 日）*

在 2023 年 5 月在義大利陶爾米納舉行的上述會議上，甚至舉辦了一場特別競賽——所有會議參與者（其中有 500 多名科學家）進行投票，選擇他們喜歡的意識理論。 上圖 2 只列出了 18 種理論，組織者選擇的理論有一定的隨意性，但這就是本質。 這次會議的一位發言人與她的同事一年前提出了一個名為「對比」的特殊資料庫，用於分析和比較某些意識理論的實證研究。

顯然，該地區正在蓬勃發展，也許一段時間後甚至會出現生產過剩的危機。

近年來出現的另一條重要路線是意識研究中物理和數學方向的發展。 很明顯，意識作為複雜系統中的一種狀態和過程，需要對各種數學位置進行分析 這是一個數學對象和資訊過程，取決於某些作者的觀點。

以下是定期在線上舉辦的「數學意識科學」研討會上著名專家的一些演講的名稱（https://seminar.math-thought.org）。

卡羅·羅維利（Carlo Rovelly）“在物理學已知低點內理解意識的三個小貢

獻”，

Karl Friston“馬可夫毛毯和波耶森力學”，

史蒂芬·沃爾夫勒姆“我們意識的特徵如何定義我們的物理和數學水平”，

Nao Tsuchiya「尋找意識經驗與資訊結構之間的同構」。

另一個例子來自牛津數學研究所，該研究所舉辦數學模型和意識基礎研討會（圖 3）。

*圖 3. 牛津數學研究所關於建模意識的研討會。*

我還可以在這裡引用大量的作品，但由於篇幅有限，我只能舉出兩個例子 當然，在意識理論中，也有一些最受歡迎的理論。

去年對此類主要理論進行了回顧（Seth & Bayne (2022) Nature Reviews Neuroscience）。 評論中的圖表（圖 4）顯示了四種最受歡迎的意識理論。高階意識理論、全局工作空間理論、綜合資訊理論、再入理論。

*圖 4. 流行的意識理論。*

我沒有機會談論他們每一個人。 我只想指出，在許多討論和辯論中，今天佔據主導地位的是全局工作空間理論，該理論是由計算心理學和認知神經科學領域的專家 Jean-Pierre Changeux 和綜合資訊理論提出的。由在美國工作的義大利科學家朱利奧·托諾尼（Giulio Tononi）提出。 如今，情況已經發展到這樣的程度：非常著名的科學家創建了一個大型專案（見圖 5），他們編寫了一個協議，用於競爭性地比較這兩種理論（全球工作空間理論和整合資訊理論）的預測

*圖 5. 理論比較協議*

這些理論的支持者聚集在一起，對應該根據一種理論和另一種不同的理論觀察的神經過程做出預測，並就協議達成一致。 世界各地的許多實驗室現已開始針對這兩種主要理論之間的不同預測進行大規模研究。

我必須對綜合資訊理論說幾句話，因為這個理論被表述為數學理論。 大量數學家和理論物理領域的專家參與了這個工作理論的發展。 例如，量子物理學領域的專家拉里薩·阿爾班塔基斯(Larissa Albantakis)開始從事神經科學工作，研究意識理論。 嗯，等等。 幾個月前，這個理論的第四個版本，IIT 4.0，發布了，它與第一個、第二個和第三個不同，這是一個正在積極開發的工作，我在這裡簡單地參考這個出版品[1]，意義重大。 我們也在朝這個方向努力，這項運動很大程度上是由俄羅斯生理學派的傳統決定的，自 19 世紀中葉以來，俄羅斯生理學派就提出了大腦高級功能的生理和物質基礎的問題。伊万·米哈伊洛

維奇·謝切諾夫（Ivan Mikhailovich Sechenov）有出色的理論著作，特別是《思想要素》，但沒有實驗方法。

然而，他為神經系統連接的理論模型做了很多工作，即所謂的自然群體，純粹是在 19 世紀假設的，神經元群體透過關節活動連接起來以反映某些外部訊號。 伊凡·彼得羅維奇·巴甫洛夫（Ivan Petrovich Pavlov）將這些條件連結組之間的聯繫和實驗方法引入了這個想法。 巴甫洛夫的學生彼得·庫茲米奇·阿諾欣（Pyotr Kuzmich Anokhin）將巴甫洛夫的條件反射思想發展成為大腦功能的系統模型，即功能係統理論。

我們試著沿著這條道路進一步前進，想像有多少個功能係統共同執行某些類型的有目的的大腦活動，形成某種複合體，該複合體構成了認知主體的本質換句話說，就是它的認知體。 我們大約 10 年前開始研究這個理論；在 [2-5] 中，在各種會議上關於這個理論的報告中指出了一些里程碑。 目前正在準備一份關於該理論基礎知識的綜合出版物。 我將簡要討論物理和數學方法可能感興趣的一些方面。 必須立即指出，該理論與大多數其他理論不同。 首先，因為它不是從意識的問題開始，而是從什麼是心靈、什麼是感知某些活動狀態的自我的問題開始。 其次，該理論從第一原理開始；它並不假設現有的大腦結構能夠提供最高水平的整合和心理活動，而是從不包含任何心理學術語的生物學原理開始。 這些原則的結合是達爾文類型的有機體系統充分的初始條件，該系統具有這些基本原則的組合，逐漸開始在其自身內部發展出承載智慧和意識的高階結構。

*圖 6. 神經超網絡理論原理。*

從這些第一原理，理論推導出這些高階結構出現的原理，從出現的第一原理，理論推導出出現的東西，即結構、其中的過程和存在的原理。

今天我只談理論的最後一部分，也就是存在的原則。 該理論引入了神經生理學語言和神經生理學裝置中通常不考慮的三種新對象。

她介紹了認知神經群體或齒輪的概念、這些群體之間的聯繫（群體聯繫）以及由這兩類元素形成的特殊認知複合體，該理論將其稱為認知組。 讓我們對每個元素簡單說一下。

*圖 7. COG 和 LIG 認知組*

認知群體是一組合作的神經元，在其聯合活動中，決定了整個有機體與周圍世界的一個或另一個方面的關係的某些方面，其中這些方面的出現充當激活的原因這個由特殊元素組成的神經群的激活，可以導致其他神經群的行為或精神狀態發生後續變化，從而決定身體的神經過程、行動和行為的動態。

這些認知級神經組的頂點編碼比構成該組的各個元素更高階的概念，它們透過連結器互連，理論上稱為聯盟。 「齒輪」一詞在理論上具有雙重意義：一方面，它是一個小元素，是整個認知系統的從屬部分，是由該群體編碼的定性特定體驗。

另一方面，它是物理上存在的神經群的縮寫，其活動決定了特定體驗的這一元素及其因果潛力。 術語「lig」連接基團反映了超網路結構中連接的特定特徵。

與神經網路不同，神經網路中的連接是單一細胞之間的接觸，即軸突，連接神經系統中細胞的電線，在超網路中，在神經超網路中，連接不是網路的邊緣，而是它的元素，之間的共同元素兩組，被一組激活後，能夠將激勵（信號）傳輸到另一組。

TNG 的三個基本概念

心靈是真實的－它是一種特定的有機和數學結構（K-網絡），調節認知主體（K-主體）與環境的因果關係。

為了描述這個特定係統的元素和特性，需要引入新的基本科學概念。

表格 1

因此，該理論引入了三個基本概念：認知群體、認知群體的連結者和單一認知網絡，認知網絡承載著認知主體的所有主觀經驗。 該理論確定了這種超網絡中的三類元素，其中重要的元素是在大群體重疊時出現的微群體。

*圖 8. 神經超網絡*

這些微群具有這樣的特性，即專門針對這些大系統的神經元能夠充當許多系統之間的通訊通道。 如果我們談論的是意識，那麼理論表明，當這種具有專門元素的超網絡出現時，興奮能夠在該網絡中滲透。

*圖 9. 最小認知元神經元*

因此，當與許多系統相關的一個元素被激發時，成千上萬個類似的元素在一種或另一種大腦活動狀態下同時被激發，這是受試者積累的所有元素和經驗單元的全域覆蓋，即他的自我出現了，有一個覺知的過程。

*圖 10. 神經認知程式碼*

當然，我們作為神經生物學家、神經生理學家在這一領域工作，我們對最小認知元素是單一神經元的可能性和預測感興趣，它能夠進入不同的認知社區

並具有該類別共有的專業化。

個別細胞對此認知經驗的編碼將認知系統及其形成的整個過程降低到個別細胞及其分子過程的層次。 這就是我們感興趣的地方。

*圖 11. 功能係統的疊加*

我們對這是如何發生的有假設，這是由於不同功能係統的疊加而發生的，例如，一個和另一個，

當這兩個系統的共同元素可能反映與周圍世界的一個或另一個方面相關的某些激活時，用顏色顯示的動作。

*圖 12. 認知神經元特化*

在這種情況下，兩個完全不同的神經元功能組具有共同的紅色顏色，這使得該神經元在這些屬性方面具有特殊性。

我們透過記錄實驗動物大腦中的細胞活動來研究這一點。 我們表明，這種認知類型的專門化，例如，神經元活動相對於環境中某個位置的專門化，可以很快發生，幾乎從動物第一次進入這個環境時就可以發生，並且持續很長時間。

*圖 13. 人工神經網路中的多模態神經元*

值得注意的是，在人工神經網路中已經發現了相同類型的多模態神經元；例如，OpenAI 公司的工作，該公司研究了深度神經網路深層細胞的特化，並揭示了在人工神經網路中神經網絡，它把

*圖 14. 神經元特化*

對於嚴肅的深層問題，神經元似乎在個體性格、個體顏色、個體情緒表達等方面具有專門化。好吧，最後要說的是，儘管我們作為神經生理學家對概念基礎和神經生物學基礎感興趣，但我們面臨著將這些系統及其過程形式化的任務。

*圖 15. 神經超網絡*

當我在 2019 年開始研究這個理論時，我假設我們正在研究的網絡（認知組）是一個可以與神經網絡相關的認知網絡，但很快在第一年就發現這是一個死的網路 end：不可能關聯兩個網絡，其中一個是非物質的，第二個是物質的。 我們需要的是一個有兩個面的單一物體，它是對偶的。 很明顯，由於多種原因，該網絡不適合描述這樣的對象，因為它探索了元素之間的成對關係，在這

裡我展示了這些組被組合成一個新的屬性，其次，它不描述高階屬性。 很明顯，我們需要轉向更複雜的系統和數學模型。

很明顯，伯格引入的超圖也不是適當的概念。 2014 年，我們得出的結論是，我們所看到的此類系統的正式描述是超網路。

*圖 16. 超網路*

最近，網路專家也得出了這個結論，從最近 16-17 年開始，將同一物件稱為高階網路。 在這兩種情況下，我們談論的是同一件事，並且需要在神經科學方面進行大量的進一步研究。

因此，我以第一張投影片結束我的報告。

*圖 17. 報告的最後一張幻燈片*

我們在大腦高階結構和功能的理論層面上工作。 我們將其形式化為神經超網路或高階網路的概念。 我們相信大腦就是這樣一個超網絡，而不是像今天所研究的那樣是一個低階的一階神經網絡。 而意識是這個結構中的特定過程，只有當這個結構在經驗和學習的影響下發展時才存在。 這個過程的本質固然是神秘的，但我們認為它可以用滲透方法來描述，但無論是結構還是過程我們都非常清楚，有必要與數學和數學領域的專家合作。理論物理學和我們邀請這樣的合作。

***Литература References 參考書目***

1. Albantakis L., Barbosa L., Findlay G., Grasso M., Haum A.M., Marshall W., Mayner W., Zaeemzadeh A., Boly M., Juel B.E., Sasai S., Fujii K., David I., Hendren J., Lang J.P., Tononi G. Integrated information theory (IIT) 4.0: Formulating the propeties of phenomenal existence in physical terms, arXiv:2212.14787v1[q-bio.NC] 30 Dec 2022.

2. Anokhin K.V. Cognitome: theory of realized degrees of freedom of the brain, Fifth International Conference on Cognitive Science, Kaliningrad, 2012.

3. Anokhin K.V. Cognitome: in search of a general theory of cognitive science, Sixth International Conference on Cognitive Science, Kaliningrad, 2014.

4. Anokhin K.V. Connectome and Cognit: bridging the gap between brain and mind, Seventh International Conference on Cognitive Science, Svetlogorsk, 2016.

5. Anokhin K.V. Neural code: in search of cellular principles of coding cognitive information, Baltic Forum. Neuroscience, artificial intelligence, complex systems, Kaliningrad, 2021.

DOI 10.18699/sblai2023-53
*УДК 612.82*

# О физике сознания и его формировании
# About the physics of consciousness and its formation
*關於意識的物理學及其形成*

**Мазуров М.Е.**
*доктор физико-математических наук, профессор,*
*Российский Экономический Университет им. Г.В. Плеханова*
*Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,*
*Russian Economic University named after. G.V. Plekhanov*
*物理與數學科學博士、教授、*
*以普列漢諾夫命名的俄羅斯經濟大學*
*俄羅斯莫斯科*
*mazurov37@mail.ru*

***Аннотация.*** Приведено обоснование формирования сознания как потока специфически распределенной по коре, кодированной электрической импульсной активности, генерируемой в мозге. Приведена макроскопическая материальная архитектура для формирования сознания. Приведены сведения о возможных математических моделях формирования сознания. Первая в виде большой системы нелинейных дифференциальных уравнений с малыми параметрами перед производными. Вторая в виде системы нелинейных интегральных уравнений Вольтерра. Отмечено, что в вычислительном эксперименте получено адекватное подтверждение соответствия математической модели реальным нейрофизиологическим данным. Приведенная материалистическая модель формирования сознания дает возможность его формирования для искусственного интеллекта и для человека.

***Ключевые слова:*** сознание, представление сознания потоком, оценка теории сознания, математическая модель сознания, релевантность математической модели сознания.

***Annotation.*** The rationale for the formation of consciousness as a flow of specifically distributed, encoded electrical impulse activity generated in the brain is given. The macroscopic material architecture for the formation of consciousness is presented. Information is provided on possible mathematical models of the formation of consciousness. The first is in the form of a large system of nonlinear differential equations with small parameters in front of the derivatives. The second is in the form of a system of nonlinear Volterra integral equations. It is noted that the computational experiment provided adequate confirmation of the correspondence of the mathematical model to real neurophysiological data. The given materialistic model of the formation of consciousness makes it possible to form it for artificial intelligence and for humans.

***Keywords:*** consciousness, representation of consciousness as a stream, assessment of the theory of consciousness, mathematical model of consciousness, relevance of the mathematical model of consciousness.

***註解***。 給出了意識形成為大腦中產生的特定分佈的、編碼的電脈衝活動流的基本原理。 提出了意識形成的宏觀物質結構。 提供了有關意識形成的可能數學模型的資訊。 第一種是大型非線性微分方程組的形式，導數前面有小參數。 第二種是非線性 Volterra 積分方

程組的形式。 值得注意的是，計算實驗充分證實了數學模型與真實神經生理學數據的對應關係。 給定的意識形成的唯物主義模型使得為人工智慧和人類形成意識成為可能。
***關鍵字*:** 意識，意識流的表徵，意識理論的評估，意識的數學模型，意識數學模型的相關性。

Сознание представляется в виде материального потока – трафика. Такое преставление впервые сформулировано в 1838 году У. Джеймсом [1]. В настоящее время поддержано в работах академиков И. П. Павлова [2]. Е.Н. Соколова [3]., К.В. Анохина [4], профессора Д.И. Дубровского [5] и других видных российских и зарубежных ученых [6-8]. Учеными У. Джеймсом и акад. И.П. Павловым, Е. Н. Соколовым даны замечательные определения сознания как потока. Приводим эти определения.

У. Джеймс в книге "Основы психологии". Уильямс Джеймс в 1890 году писал: "Сознание это поток, река, в которой мысли, ощущения, воспоминания, внезапные ассоциации постоянно перебивают друг друга и причудливо, «нелогично» переплетаются". В нём нет ничего объединенного; он течет. "Река" или "поток" это метафоры, с помощью которых это наиболее естественно описывается».

И.П. Павлов о сознании человека: «Если бы можно было видеть сквозь черепную крышку, если бы место больших полушарий с оптимальной возбудимостью светилось, то мы увидели бы в думающем сознательном человеке, как по его большим полушариям передвигается постоянно изменяющееся в форме и величине причудливо неправильных очертаний светлое пятно, окруженное на всем остальном пространстве полушарий более или менее значительной тенью» [2].

Дадим замечательное определение сознание как потока акад. Е.Н. Соколова. «Сознание это «поток личных (субъективных) переживаний: смену образов, мыслей, намерений и чувств». «Сознание, возникающее в мозговых структурах, является сугубо личным достоянием, недоступным постороннему наблюдателю» [3].

Представление сознания в виде материального потока получило веское подтверждение в экспериментальных исследованиях: на открытом мозге, в методах просветления мозга на основе экспрессии индуцированных облучением генов, в исследованиях с помощью МРТ. Приводим экспериментальные данные, подтверждающие формирование сознания в виде материального потока. Это следующие данные: 1) эксперименты на открытом мозге больных людей [9]; 2) данные об экспериментах с просветлением мозга по методу экспрессии генов [10]; 3) эксперименты с помощью метода ФМРТ Т2 [11]; 4) эксперименты с прямым возбуждением серий электрических импульсных последовательностей в так называемых «нейронах бабушки» или в когнитивных группах КОГах по терминологии акад. К.В. Анохина при распознавании лиц известных людей

[12].

Приводим результаты экспериментов по визуализации сознания с помощью технологии ФМРТ в виде потока электрических импульсных последовательностей, идентифицируемых с помощью светящихся областей на правой и левой стороне мозга. Результаты показаны на рис. 1.

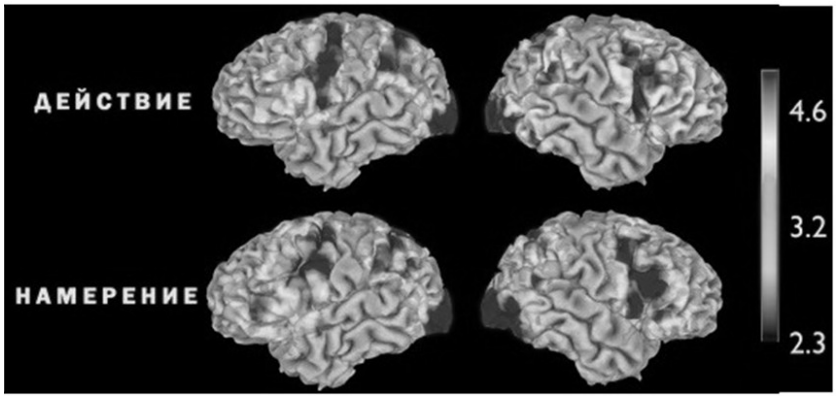



*Рис. 1. Идентификация сознания с помощью технологии ФМРТ Т2 в виде светящихся областей на правой и левой стороне мозга. Сверху идентификация при прямом наблюдении, снизу идентификация при мысленном представлении.*

*Fig. 1. Identification of consciousness using T2 fMRI technology as glowing areas on the right and left side of the brain. Above is identification by direct observation, below is identification by mental representation.*

*圖 1. 使用 T2 fMRI 技術辨識大腦左右側發光區域的意識。 上面是直接觀察的識別，下面是心理表徵的辨識。*

На рис. 2 показана прямая реализация сознания в виде серии электрических импульсных последовательностей в «нейроне Клинтона» [12] или в когнитивных группах КОГах по терминологии акад. К.В. Анохина [4].

Описание сознания в виде потока известными учеными, а также результаты экспериментальных исследований позволяют сформулировать представление сознания как потока в следующем виде.

***Определение.*** Сознание это материальный поток специфически распределенной по коре, кодированной электрической импульсной активности, коррелированной либо с текущими входными воздействиями, целесообразно преобразованными в сенсорной системе, либо с имевшими место ранее предшествующими воздействиями, зафиксированными и сохраненными в памяти; реализация сознания производится под действием внешних или внутренних, созданных внутри системы запросов.

Предложена макроскопическая когнитивная архитектура для материалистического формирования сознания в большой базе данных BIGDATE или в мозге, показанная на рис. 3.

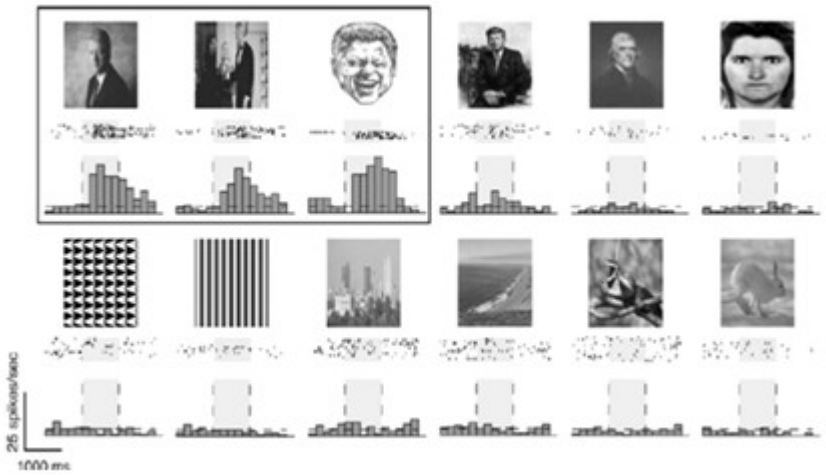


*Рис. 2. Прямая реализация сознания в виде серии электрических импульсных последовательностей в «нейроне Клинтона» [12] или в когнитивных группах КОГах по терминологии акад. К.В. Анохина [4].*

*Fig. 2. Direct implementation of consciousness in the form of a series of electrical impulse sequences in the "Clinton neuron" [12] or in cognitive groups COGs according to the terminology of Acad. K.V. Anokhin [4].*

*圖 2. 根據 Acad 的術語，在「克林頓神經元」[12] 或認知群體中以一系列電脈衝序列的形式直接實現意識。 阿諾金[4]。*

Предлагаемый способ формирования сознания даёт решение о «трудной проблеме сознания» Д. Чалмерса [6] как мозг создает сознание, позволяет представить формирование личности «Я» как множества малых составляющих, создаваемых памятью, позволяет представить формирование «квалиа» (ощущений), позволяет объяснить генерацию около 6400 парциальных сознаний в сутки, позволяет объяснить необычно высокую скорость обработки информации в мозге и другие свойства сознания. Предлагаемый способ формирования сознания показывает возможность построения искусственного сознания, позволяет целенаправленно рассмотреть детали построения сознания в мозге человека. Предлагаемая теория сознания учитывает представление мозга как системы с самоорганизованной критичностью, функционирующей в неустойчивом режиме вблизи порога самовозбуждения, стабилизируемой за счет нелинейной отрицательной обратной связи [13-16].

Предложено два способа описания математической модели формирования сознания. Первый в виде большой системы, составленной из подсистем нелинейных дифференциальных уравнений с малым параметром перед производными [17]. Каждая подсистема большой системы состоит из нескольких нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих один элемент (например, нейрон, КоГ) системы.

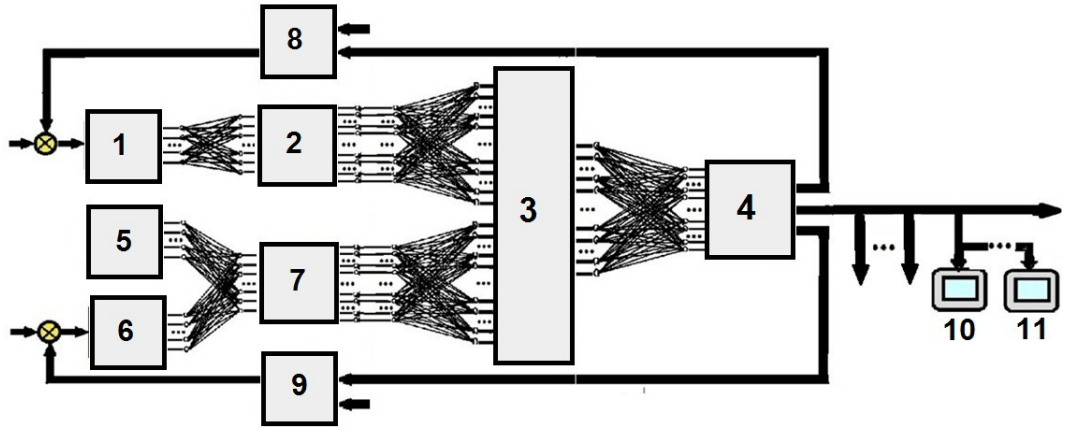



*Рис. 3. Макроскопическая когнитивная архитектура для материалистического формирования сознания в большой базе данных BIGDATE или в мозге. Обозначения: 1 - сенсорное устройство, кодирующее внешнюю информацию; 2 – преобразователь кодированной информации на основе избирательных нейронных сетей и нейронных сетей «глубокого обучения»; 3 –большая база данных, память; 4 – воспроизведении сознания, мониторирование,, преобразование в управляющие воздействия (контроллер); 5 – генератор внутренних запросов; 6 - преобразователь, кодирующий входные детерминированные запросы; 7 – нейронная сеть для распознавания детерминированных запросов с последующей передачей в базу данных; 8, 9 – детекторы в цепи обратной связи для оценки сознания и выбора входных воздействий и требуемого режима; 10,11 – индикаторы для мониторирования откликов из базы данных: зрительные, слуховые, болевые, тепловые и другие.*

*Fig. 3. Macroscopic cognitive architecture for materialist consciousness formation in the large BIGDATE database or brain. Designations: 1 - sensory device encoding external information; 2 – converter of encoded information based on selective neural networks and "deep learning" neural networks; 3 – large database, memory; 4 – reproduction of consciousness, monitoring, transformation into control actions (controller); 5 – generator of internal requests; 6 - converter encoding deterministic input queries; 7 – neural network for recognizing deterministic queries with subsequent transmission to the database; 8, 9 – detectors in the feedback circuit for assessing consciousness and selecting input influences and the required mode; 10,11 – indicators for monitoring responses from the database: visual, auditory, pain, thermal and others.*

*圖 3. 大型 BIGDATE 資料庫或大腦中唯物意識形成的宏觀認知架構。 名稱：1 - 編碼外在訊息的感覺裝置； 2 - 基於選擇性神經網路和「深度學習」神經網路的編碼資訊轉換器； 3—資料庫大、記憶體大； 4 - 意識的再現、監控、轉化為控制動作（控制器）； 5 - 內部請求產生器； 6 - 轉換器編碼確定性輸入查詢； 7 - 用於識別確定性查詢並隨後傳輸到資料庫的神經網路； 8、9 - 反饋電路中的探測器，用於評估意識並選擇輸入影響和所需模式； 10, 11 - 用於監測資料庫回應的指標：視覺、聽覺、疼痛、熱等。*

Согласно второму способу когнитом описывается большой системой нелинейных интегральных уравнений Вольтерра [18]. Каждое уравнение Вольтерра описывает один элемент когнитома. Такое описание является более компактным по сравнению с описанием по первому способу. Однако и в этом случае необходимое число интегральных уравнений велико порядка $10^7$. При

использовании математической модели в виде нелинейных дифференциальных уравнений необходимое число уравнений может быть на порядок больше.

При моделировании используется метод нахождения «быстрых решений» уравнений системы в виде известных импульсных функций, для нахождения «медленных решений» нейрона или КоГа используется либо система линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами, либо алгебраическая аппроксимация. В простейшем виде идея такого метода была предложена в 1946 году А. Винером и Розенблютом, предложившими использовать аппроксимацию импульса в виде постоянной функции малой длительности, а медленную фазу постоянной функцией значительно большей длительности [19].

Предлагаемый метод исследования сложных нелинейных систем, описывающих релаксационные колебания был описан в серии работ [20-23]. Метод позволил решать сложные задачи апроксимциии синхронизации релаксационных колебаний. Релевантность метода доказана в серии работ [20-23].

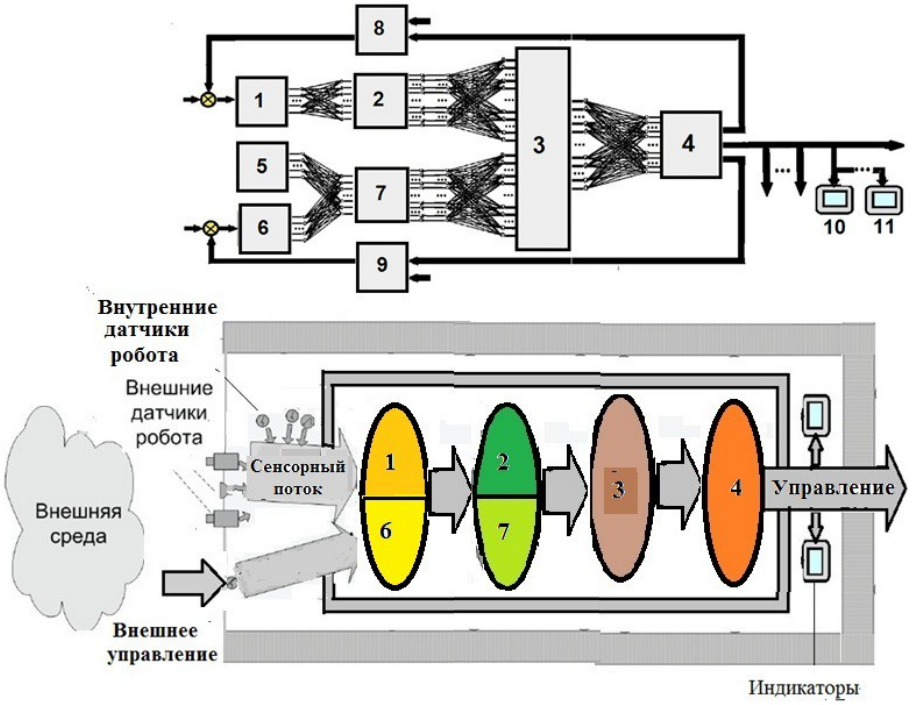



*Рис. 4. Материалистическая модель формирования сознания для искусственного интеллекта робота. Сверху приведена для сравнения макроскопическая когнитивная структура, показанная на рис. 2.*

*Fig. 4. Materialistic model of consciousness formation for robot artificial intelligence. Above is the macroscopic cognitive structure shown in Fig. 1 for comparison. 2.*

*圖 4. 機器人人工智慧意識形成的唯物模型。 以上是圖 1 所示的宏觀認知結構，以供比較。 2.*

В вычислительном эксперименте получено адекватное подтверждение

соответствия математической модели реальным нейрофизиологическим экспериментам [20-23]. Модель позволяет реализовать: формирование спайков и берстов (пачек импульсов) электрической активности мозга; формирование единого ритма (например, синоатриального узла сердца); формирование ритма дыхания в мозге; формирование циркадных ритмов в супрахиазматическом ядре мозга и другое. Результаты вычислительного моделирования подтверждаются известными нейрофизиологическими экспериментами, что подтверждает релевантность модели.

Приведенная материалистическая модель формирования сознания позволяет представить основы его формирования для искусственного интеллекта робота, что иллюстрируется рис. 4.

Рассмотрим приложение когнитивной архитектуры, для формирования сознания в мозге человека. Мозг человека является автономной структурой, поэтому реализация каждой конкретной когнитивной функции вызывает значительные трудности. Структуры мозга, ответственные за формирование сознания, согласно нейрофизиологическим исследованиям, в первом приближении приведены на рис. 5.

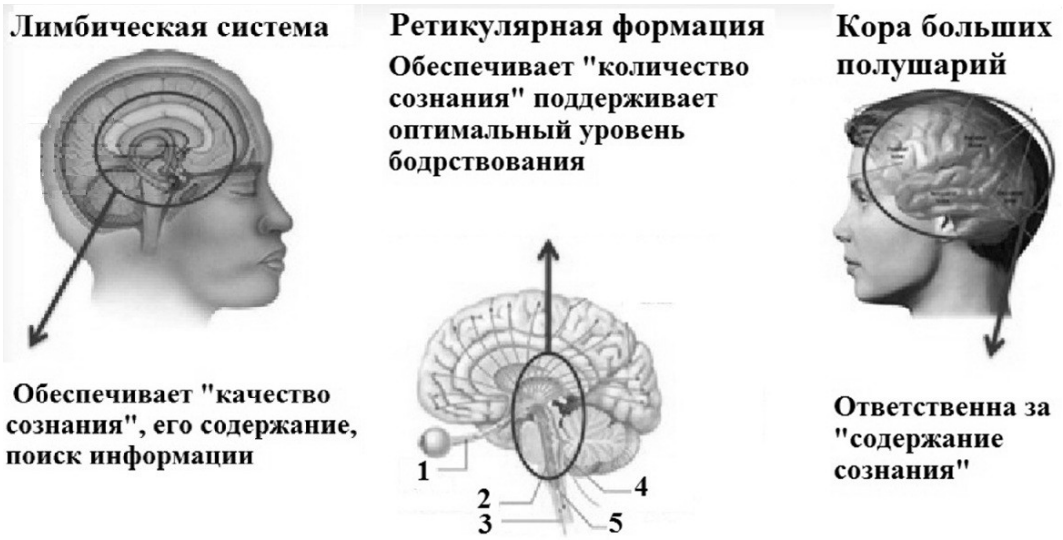



*Рис. 5. Структуры мозга, ответственные за формирование сознания: 1 – зрительный анализатор; 2 – ретикулярная информация; 3 – вход от рецепторов: прикосновение, боль, температура; 4 – слуховая информация; 5– нисходящая двигательная информация.*

*Fig. 5. Brain structures responsible for the formation of consciousness: 1 – visual analyzer; 2 – reticular information; 3 – input from receptors: touch, pain, temperature; 4 – auditory information; 5 – descending motor information.*

*圖 5. 負責意識形成的大腦結構：1 – 視覺分析器； 2 – 網路資訊； 3 – 來自感受器的輸入：觸摸、疼痛、溫度； 4 – 聽覺訊息； 5 – 下降馬達資訊。*

Реализация материалистической когнитивной архитектуры формирования сознания для мозга человека учитывает наличие потоков информации, идущих от таламуса к коре. Связи действуют в двух направлениях, от таламуса к коре и

от коры обратно к той же области таламуса. Более того, когда таламические связи прерываются, функции соответствующей области коры почти полностью теряются. Следовательно, кора функционирует в тесной связи с таламусом и практически может рассматриваться и анатомически, и функционально как единое целое, называемая таламокортикальной системой, что иллюстрируется рис. 6.

Схематическая реализация материалистической когнитивной архитектуры формирования сознания для мозга человека показана на рис. 6 слева снизу. Большая база данных представлена в виде двух составляющих мозга: таламуса и коры, представляемых как единое целое таламокортикальной системой. Схематическая модель нервных волокон от таламуса к коре мозга зрительной, моторной и слуховой показана на рис. 6 справа снизу.

Материалистическая модель формирования сознания для мозга человека показана на рис. 6 сверху. Изображение нервных волокон, идущих от таламуса к коре, было получено с помощью трактографии - диагностического метода, основанного на диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии ФМРТ, позволяющего визуализировать ориентацию и целостность проводящих путей головного мозга *invivo*.

Предлагаемая макроскопическая когнитивная архитектура для формирования сознания позволяет целенаправленно и детально изучать более сложные структуры мозга в их взаимодействии.

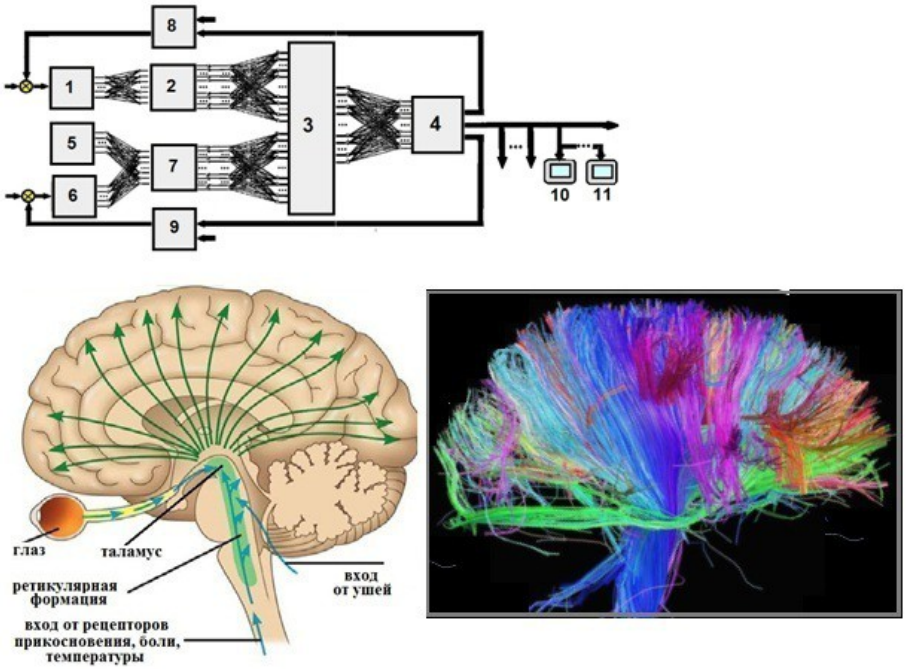



*Рис. 6. Реализация материалистической когнитивной архитектуры формирования сознания*

*Fig. 6. Implementation of a materialist cognitive architecture formation of consciousness*

*圖 6. 唯物主義認知架構的實現 意識的形成*

Для более детального изучения формирования сознания в мозге человека необходимы дальнейшие значительные исследования. Свойства предлагаемой структурной и математической модели формирования сознания не противоречат представлениям психологов и философов о ментальном представлении сознания, наоборот, возникают новые возможности для исследований.

Consciousness is represented in the form of a material flow - traffic. This concept was first formulated in 1838 by W. James [1]. Currently supported in the works of academicians I. P. Pavlov [2]. E.N. Sokolov [3]., K.V. Anokhin [4], professor D.I. Dubrovsky [5] and other prominent Russian and foreign scientists [6-8]. Scientists W. James and acad. I.P. Pavlov, E.N. Sokolov gave wonderful definitions of consciousness as a flow. We present these definitions.

W. James in the book "Fundamentals of Psychology". Williams James wrote in 1890: “Consciousness is a stream, a river in which thoughts, sensations, memories, sudden associations constantly interrupt each other and are intricately, “illogically” intertwined.” There is nothing unified about it; it flows. "River" or "stream" are the metaphors by which it is most naturally described."

I.P. Pavlov about human consciousness: “If it were possible to see through the roof of the skull, if the place of the cerebral hemispheres with optimal excitability shone, then we would see in a thinking, conscious person how a light constantly changing in shape and size of bizarrely irregular outline moves through his cerebral hemispheres. a spot surrounded by a more or less significant shadow throughout the rest of the hemispheres” [2].

Let us give a wonderful definition of consciousness as a stream of Acad. E.N. Sokolova. “Consciousness is “a flow of personal (subjective) experiences: changes in images, thoughts, intentions and feelings.” “Consciousness arising in brain structures is a purely personal property, inaccessible to an outside observer” [3].

The idea of consciousness as a material flow has received strong confirmation in experimental studies: on the open brain, in methods of brain enlightenment based on the expression of radiation-induced genes, in MRI studies. We present experimental data confirming the formation of consciousness in the form of a material flow. These are the following data: 1) experiments on the open brains of sick people [9]; 2) data on experiments with brain clearing using the gene expression method [10]; 3) experiments using the T2 fMRI method [11]; 4) experiments with direct excitation of series of electrical impulse sequences in the so-called “grandmother neurons” or in cognitive groups COGs in the terminology of Acad. K.V. Anokhin in recognizing the faces of famous people [12].

We present the results of experiments on visualizing consciousness using fMRI technology in the form of a stream of electrical pulse sequences, identified by luminous areas on the right and left sides of the brain. The results are shown in Fig. 1.

In Fig. Figure 2 shows the direct implementation of consciousness in the form of

a series of electrical impulse sequences in the “Clinton neuron” [12] or in cognitive groups COGs according to the terminology of Acad. K.V. Anokhin [4].

The description of consciousness in the form of a flow by famous scientists, as well as the results of experimental studies, allow us to formulate the idea of consciousness as a flow in the following form.

Definition. Consciousness is a material flow of specifically distributed throughout the cortex, encoded electrical impulse activity, correlated either with current input influences, expediently transformed in the sensory system, or with previously occurring previous influences, recorded and stored in memory; the realization of consciousness is carried out under the influence of external or internal requests created within the system.

A macroscopic cognitive architecture for the materialistic formation of consciousness in the large BIGDATE database or in the brain is proposed, shown in Fig. 3.

The proposed method of forming consciousness provides a solution to the “difficult problem of consciousness” by D. Chalmers [6] how the brain creates consciousness, allows us to imagine the formation of the personality “I” as a set of small components created by memory, allows us to imagine the formation of “qualia” (sensations), allows us to explain the generation of about 6,400 partial consciousnesses per day helps explain the unusually high speed of information processing in the brain and other properties of consciousness. The proposed method of forming consciousness shows the possibility of constructing artificial consciousness and allows us to purposefully consider the details of the construction of consciousness in the human brain. The proposed theory of consciousness takes into account the idea of the brain as a system with self-organized criticality, functioning in an unstable mode near the threshold of self-excitation, stabilized by nonlinear negative feedback [13-16].

Two methods have been proposed to describe the mathematical model of the formation of consciousness. The first is in the form of a large system composed of subsystems of nonlinear differential equations with a small parameter in front of the derivatives [17]. Each subsystem of a large system consists of several nonlinear differential equations that describe one element (for example, neuron, CoG) of the system.

According to the second method, cognitome is described by a large system of nonlinear Volterra integral equations [18]. Each Volterra equation describes one element of the cognitome. This description is more compact compared to the description according to the first method. However, in this case, the required number of integral equations is large, about 107. When using a mathematical model in the form of nonlinear differential equations, the required number of equations can be an order of magnitude greater.

When modeling, the method of finding “fast solutions” of system equations in

the form of known impulse functions is used; to find “slow solutions” of a neuron or CoG, either a system of linear differential equations with constant coefficients or an algebraic approximation is used. In its simplest form, the idea of such a method was proposed in 1946 by A. Wiener and Rosenbluth, who proposed using the pulse approximation in the form of a constant function of short duration, and the slow phase as a constant function of much longer duration [19].

The proposed method for studying complex nonlinear systems describing relaxation oscillations was described in a series of works [20-23]. The method made it possible to solve complex problems of approximation and synchronization of relaxation oscillations. The relevance of the method has been proven in a series of works [20-23].

In a computational experiment, adequate confirmation of the correspondence of the mathematical model to real neurophysiological experiments was obtained [20-23]. The model allows you to implement: the formation of spikes and bursts (bursts of impulses) of electrical activity of the brain; formation of a single rhythm (for example, the sinoatrial node of the heart); formation of a breathing rhythm in the brain; formation of circadian rhythms in the suprachiasmatic nucleus of the brain and more. The results of computational modeling are confirmed by well-known neurophysiological experiments, which confirms the relevance of the model.

The given materialistic model of the formation of consciousness allows us to present the basis of its formation for the artificial intelligence of a robot, which is illustrated in Fig. 4.

Let's consider the application of cognitive architecture for the formation of consciousness in the human brain. The human brain is an autonomous structure, so the implementation of each specific cognitive function causes significant difficulties. The brain structures responsible for the formation of consciousness, according to neurophysiological studies, are shown as a first approximation in Fig. 5.

The implementation of the materialistic cognitive architecture of the formation of consciousness for the human brain takes into account the presence of information flows coming from the thalamus to the cortex. The connections operate in two directions, from the thalamus to the cortex and from the cortex back to the same area of the thalamus. Moreover, when thalamic connections are interrupted, the functions of the corresponding cortical area are almost completely lost. Consequently, the cortex functions in close connection with the thalamus and can practically be considered both anatomically and functionally as a single whole, called the thalamocortical system, as illustrated in Fig. 6.

A schematic implementation of the materialistic cognitive architecture of consciousness formation for the human brain is shown in Fig. 6 bottom left. The large database is represented in the form of two components of the brain: the thalamus and the cortex, represented as a single whole by the thalamocortical system. A schematic model of nerve fibers from the thalamus to the visual, motor and auditory cortex is

shown in Fig. 6 bottom right.

The materialistic model of the formation of consciousness for the human brain is shown in Fig. 6 on top. Nerve fibers from the thalamus to the cortex were imaged using tractography, a diagnostic technique based on diffusion-weighted magnetic resonance imaging fMRI that allows visualization of the orientation and integrity of brain pathways in vivo.

The proposed macroscopic cognitive architecture for the formation of consciousness allows for a targeted and detailed study of more complex brain structures in their interaction.

Further significant research is needed to study in more detail the formation of consciousness in the human brain. The properties of the proposed structural and mathematical model of the formation of consciousness do not contradict the ideas of psychologists and philosophers about the mental representation of consciousness; on the contrary, new opportunities for research arise.

意識以物質流－交通的形式表現出來。 這個概念由 W. James 於 1838 年首次提出[1]。 目前受到 I. P. Pavlov 院士的著作支持 [2]。 E.N. 索科洛夫 [3]., K.V. Anokhin [4]，D.I. 教授 杜布羅夫斯基 [5] 和其他著名的俄羅斯和外國科學家 [6-8]。 科學家 W. James 和 Acad。 智慧財產 巴甫洛夫 (Pavlov)、索科洛夫 (E.N. Sokolov) 對意識流給了一個精彩的定義。 我們提出這些定義。

W.詹姆斯在《心理學基礎》一書中。 威廉斯・詹姆斯(Williams James)在 1890 年寫道：「意識是一條溪流，一條河流，思想、感覺、記憶、突然的聯想不斷地相互幹擾，錯綜複雜地、'不合邏輯'地交織在一起。 」 沒有什麼是統一的； 它流動。 “河流”或“溪流”是最自然地描述它的隱喻。”

智慧財產 巴甫洛夫關於人類意識的論述：「如果能夠透過頭骨的頂部看到，如果大腦半球具有最佳興奮性的地方發光，那麼我們就會在一個有思想、有意識的人身上看到光如何不斷改變形狀和大小。「一個奇怪的不規則輪廓在他的大腦半球中移動。這個點被整個大腦半球的其餘半球或多或少顯著的陰影包圍」[2]。

讓我們將意識定義為 Acad 流。 E.N. 索科洛娃。 “意識是“個人（主觀）體驗的流動：圖像、思想、意圖和感受的變化。” 「大腦結構中產生的意識純粹是個人財產，外部觀察者無法獲得」[3]。

意識作為物質流的想法在實驗研究中得到了強有力的證實：在開放的大腦中，在基於輻射誘導基因表達的大腦啟蒙方法中，在核磁共振研究中。 我們提供的實驗數據證實了意識以物質流的形式形成。 這些是以下數據：1）對病人開放大腦的實驗[9]； 2）使用基因表現法進行大腦清理實驗的資料[10]；

3）使用 T2 fMRI 方法進行實驗[11]； 4) 在所謂的「祖母神經元」或認知組 COG（Acad 術語中）中直接激發一系列電脈衝序列的實驗。 K.V. Anokhin 辨識名人的臉 [12]。

我們展示了使用功能性磁振造影技術以電脈衝序列流的形式可視化意識的實驗結果，這些脈衝序列由大腦右側和左側的發光區域識別。 結果如圖所示。 1.

在圖中。 圖 2 顯示了意識在「克林頓神經元」[12] 或根據 Acad 術語的認知組 COG 中以一系列電脈衝序列的形式直接實現。 K.V. 阿諾金[4]。

著名科學家對意識流形式的描述，以及實驗研究的結果，使我們能夠將意識流的概念表述為以下形式。

定義。 意識是一種物質流，專門分佈在整個皮層，編碼電脈衝活動，與當前輸入影響相關，在感覺系統中方便地轉換，或與先前發生的先前影響相關記錄並存儲在內存中； 意識的實現是在系統內產生的外部或內部請求的影響下進行的。提出了在大型 BIGDATE 資料庫或大腦中意識的唯物形成的宏觀認知架構，如圖 1 所示。 3.

所提出的形成意識的方法為 D. Chalmers [6] 大腦如何創造意識的「意識難題」提供了解決方案，使我們能夠將人格「我」的形成想像為一組由記憶使我們能夠想像「感受性」（感覺）的形成，使我們能夠解釋每天大約 6,400 個部分意識的產生，有助於解釋大腦中異常高的信息處理速度和意識的其他特性。 所提出的形成意識的方法展示了建構人工意識的可能性，並使我們能夠有目的地考慮人腦中意識建構的細節。 所提出的意識理論考慮到大腦作為一個具有自組織臨界性的系統的想法，在接近自激勵閾值的不穩定模式下運行，透過非線性負回饋穩定[13-16]。

人們提出了兩種方法來描述意識形成的數學模型。 第一種是由非線性微分方程子系統所組成的大系統的形式，導數前面有一個小參數[17]。 大型系統的每個子系統都由多個非線性微分方程式組成，這些方程式描述系統的一個元素（例如神經元、CoG）。

根據第二種方法，認知組是由一個大型非線性 Volterra 積分方程組來描述的[18]。 每個 Volterra 方程式描述了認知組的一個元素。 與根據第一種方法的描述相比，該描述更加緊湊。 然而，在這種情況下，所需的積分方程式的數量很大，大約是 107 個。當使用非線性微分方程形式的數學模型時，所需的方程式的數量可以大一個數量級。

建模時，使用以已知脈衝函數的形式尋找系統方程式“快速解”的方法；尋找神經元或 CoG 的“慢速解”，無論是具有常係數的線性微分方程組還是代數近似用來。 最簡單的形式是，這種方法的想法由 A. Wiener 和 Rosenbluth 於 1946 年提出，他們提出使用短持續時間常數函數形式的脈衝

近似，並將慢相位作為常數函數持續時間更長[19]。

在一系列工作中描述了所提出的研究描述弛豫振盪的複雜非線性系統的方法[20-23]。 此方法使得解決張弛振蕩的近似和同步的複雜問題成為可能。 此方法的相關性已在一系列工作中得到證明[20-23]。

在計算實驗中，充分證實了數學模型與真實神經生理實驗的對應關係[20-23]。 此模型可讓您實現： 大腦電活動的尖峰和爆發（脈衝爆發）的形成；形成單一節律（例如心臟的竇房結）； 在大腦中形成呼吸節律； 大腦視交叉上核等晝夜節律的形成。 計算模型的結果得到了著名的神經生理學實驗的證實，這證實了模型的相關性。

給定的意識形成的唯物主義模型使我們能夠展示機器人人工智慧形成的基礎，如圖 1 所示。 4.

讓我們考慮一下認知架構在人腦意識形成中的應用。 人腦是自主結構，因此每個特定認知功能的實現都會造成很大的困難。 根據神經生理學研究，負責意識形成的大腦結構如圖 1 所示。 5.

人腦意識形成的唯物主義認知架構的實施考慮了從丘腦到皮質的資訊流的存在。 這些連結在兩個方向上起作用，從丘腦到皮質，以及從皮質回到丘腦的同一區域。 而且，當丘腦連結中斷時，相應皮質區域的功能幾乎完全喪失。 因此，皮質的功能與丘腦密切相關，實際上可以在解剖學和功能上被視為一個整體，稱為丘腦皮質系統，如圖 1 所示。 6.

人腦意識形成的唯物認知架構的示意性實現如圖 1 所示。 6 左下角。這個大型資料庫以大腦的兩個組成部分的形式表示：丘腦和皮質，由丘腦皮質系統表示為一個整體。 從丘腦到視覺、運動和聽覺皮質的神經纖維示意圖如圖 1 所示。 6 右下角。

人腦意識形成的唯物模型如圖 1 所示。 6 在上面。 使用纖維束成像技術對從丘腦到皮質的神經纖維進行成像，纖維束成像是一種基於擴散加權磁振造影 fMRI 的診斷技術，可視覺化體內大腦路徑的方向和完整性。

所提出的用於意識形成的宏觀認知架構允許對更複雜的大腦結構相互作用進行有針對性和詳細的研究。

需要進一步進行重大研究來更詳細地研究人腦意識的形成。 所提出的意識形成的結構和數學模型的特性並不與心理學家和哲學家關於意識的心理表徵的觀點相矛盾；相反，出現了新的研究機會。

***Литература*** ***References*** ***參考書目***

1. Джеймс У. Основы психологии, 1890 г.

2. Анохин П. К. Иван Петрович Павлов, М.-Л. 1949, 404 с.

3. Соколов Е. Н. Очерки по психофизиологии сознания. М., МГУ. 2008. 255 с.

4. Анохин К. В. Когнитом в поисках фундаментальной нейронаучной теории сознания, Журнал высшей нервной деятельности, 2021. Т. 71, № 1, С. 39-71.

5. Дубровский Д.И. Проблема “сознание и мозг”: теоретическое решение, М., Канон+, 2015, 208 с.

6. Чалмерс Дэвид. Сознательный разум: в поисках фундаментальной теории, Издательство Оксфордского университета, 1996.

7. Баарс Б. Когнитивная теория сознания, Изд. Кембриджского университета. 1993, с. 15-18.

8. Crick F., Koch C. A framework for consciousness, Nat. Neurosci., 2003, v. 6, no. 2, p. 119–126.

9. Лурия А.Р. Основы нейропсихологии. М., Издательский центр «Академия», 2013, 384 с.

10. Доронина-Амитонова Л.В., Федотов И.В., Федотов А.Б., Анохин К.В., Желтиков А.М. Нейрофотоника: оптические методы исследования и управления мозгом. УФН. 2015. Т. 185, № 4, С. 371–392.

11. Ушаков В.Л., Верхлютов В.М., Соколов П.А., Ублинский М.В., Стрелец В.Б., Аграфонов А.Ю., Петряйкин А.В., Ахадов Т.А. Активация структур мозга по данным фМРТ при просмотре видеосюжетов и припоминании показанных действий, Журнал высшей нервной деятельности, 2011, Т. 61, № 5, С. 553–564.

12. Kreiman G., Fried J., Koch G. Singleneuron correlates of subjective vision in the human medial temporal lobe. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 2002, V. 99, no. 12, P. 8378-8383.

13. Бак П. Как работает природа: теория самоорганизованной критичности. Пер. с англ. URSS. 2013, 276 с.

14. Евин И. А. Синергетика сознания. Москва-Ижевск, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2008, 127 с.

15. Мазуров М. Е. Физика режимов с самоорганизованной критичностью на кромке устойчивости, Изв. РАН. Серия физическая, 2022, Т. 86, no. 2, С. 298-304.

16. Hebb D.O. The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory, New York, Wiley, 1949.

17. Мищенко Е.Ф., Розов Н.Х. «Дифференциальные уравнения с малым параметром и релаксационные колебания» М.: Наука. 1975. 247 с.

18. Верлань А.Ф., Сизиков В.С. Интегральные уравнения: Методы, алгоритмы, программы. Справочное пособие, Киев, Наукова думка, 1986. 543 с.

19. Wiener N., Rosenblueth A. The matematical formulation of the problem of conduction of impulses in a network of connected excitable elementes, specifically in cardiac muscle, Arch. Inst. Cardiologia de Mexico.1946. V. 16, no. 3-4. P. 205-265

20. Мазуров М. Е. Синхронизация релаксационных автоколебательных систем, синхронизация в нейронных сетях, Изв. РАН. Серия физическая, 2018,

Т.82, № 1, С. 83-87.

21. Мазуров М. Е. (2020а). Механизмы инвариантного помехоустойчивого кодирования в импульсных нейронных сетях, Изв. РАН. Серия физическая. 2020, Т. 84, № 1, С. 90–95.

22. Мазуров М. Е. (2020в). Нелинейная динамика и синхронизация нейронных ансамблей при формировании внимания, Изв. РАН. Серия физическая. 2020, Т. 84, no. 3, С. 451-456.

23. Мазуров М. Е. Идентификация математических моделей нелинейных динамических систем, монография, М., ЛЕНАНД, 2019, 284 с.

DOI 10.18699/sblai2023-54
УДК 34.096

# *Искусственный интеллект в координатах права*

Artificial intelligence in the coordinates of law

法律座標下的人工智慧

**Хабриева Т.Я.**

*академик РАН, заместитель президента РАН,*
*действительный член Международной академии сравнительного права,*
*доктор юридических наук, профессор,*
*академик-секретарь Отделения общественных наук РАН,*
*директор Института законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации*
*Москва, Россия,*
*Academician of the RAS, Deputy President of the RAS, full member of the International Academy of Comparative Law, Doctor of Law, Professor,*
*Academician-Secretary of the Department of Social Sciences of the RAS,*
*Director of the Institute of Legislation and Comparative Law under the Government of the Russian Federation*
*Moscow, Russia,*
*俄羅斯科學院院士、俄羅斯科學院副院長，*
*國際比較法學院正式會員，法學博士、教授、*
*俄羅斯科學院社會科學部院士兼秘書，*
*俄羅斯聯邦政府立法與比較法研究所所長*
*俄羅斯莫斯科*
*office@izak.ru*

***Аннотация***. *Искусственный интеллект послужил предпосылкой формирования специфического предмета правового регулирования, что поставило задачу поиска адекватных форм и методов правового воздействия на общественные отношения в данной сфере. Проведен анализ касающийся искусственного интеллекта, в том числе с точки зрения этики и права вопросов правового регулирования, юридической ответственности, кибербезопасности и сохранности персональных данных, , возможностей предиктивной аналитики, субъектности объектов с искусственным интеллектом, а также интеллектуальной собственности. Искусственный интеллект, а также общественные отношения, связанные с его созданием и использованием, постепенно приобретают правовую форму, которая развивается в системе координат, заданной идеями приоритета прав человека, безопасности личности, общества и государства. Показано, что можно прогнозировать укоренение разрешительного правового режима оборота технологий и систем искусственного интеллекта, расширение юридических гарантий безопасности человека и его прав, обеспечение правового бытия искусственного интеллекта в строго определённых параметрах.*

***Ключевые слова***: *искусственный интеллект, правовое регулирование, юридическая*

*ответственность, персональные данные, кибербезопасность, этика, право, распознавание лиц, предиктивная аналитика, субъект права, интеллектуальная собственность*

***Annotation.*** *Artificial intelligence served as a prerequisite for the formation of a specific subject of legal regulation, which posed the task of finding adequate forms and methods of legal influence on public relations in this area. An analysis was carried out regarding artificial intelligence, including from the point of view of ethics and law, issues of legal regulation, legal liability, cybersecurity and safety of personal data, the capabilities of predictive analytics, the subjectivity of objects with artificial intelligence, as well as intellectual property. Artificial intelligence, as well as social relations associated with its creation and use, are gradually acquiring a legal form, which is developing in a coordinate system defined by the ideas of the priority of human rights, the security of the individual, society and state. It is shown that it is possible to predict the establishment of a permissive legal regime for the circulation of technologies and artificial intelligence systems, the expansion of legal guarantees of human security and his rights, and ensuring the legal existence of artificial intelligence within strictly defined parameters.*

***Keywords:*** *artificial intelligence, legal regulation, legal liability, personal data, cybersecurity, ethics, law, facial recognition, predictive analytics, subject of law, intellectual property*

***註解。*** *人工智慧作為特定法律規制主體形成的前提，這提出了尋找適當的法律影響該領域公共關係的形式和方法的任務。 對人工智慧進行了分析，包括從倫理和法律的角度、法律監管問題、法律責任、網路安全和個人資料安全、預測分析能力、人工智慧物件的主觀性等方面進行分析。以及智慧財產權。 人工智慧以及與其創造和使用相關的社會關係正在逐漸獲得法律形式，並在人權優先、個人、社會和國家安全理念所定義的座標系中發展。研究表明，有可能為技術和人工智慧系統的流通建立一個寬鬆的法律制度，擴大對人類安全及其權利的法律保障，並確保人工智慧在嚴格定義的範圍內合法存在。*

***關鍵字：*** *人工智慧、法律監管、法律責任、個人資料、網路安全、道德、法律、臉部辨識、預測分析、法律主題、智慧財產權*

Появление и развитие технологий, именуемых искусственным интеллектом, а также их интенсивное применение в различных сферах человеческой деятельности стало вызовом для права и юридической доктрины. Искусственный интеллект, как и ряд других продуктов технологической революции, послужил предпосылкой формирования специфического предмета правового регулирования, что поставило задачу поиска адекватных форм и методов правового воздействия на общественные отношения в данной сфере.

Искусственный интеллект осваивается правоведами в качестве прикладной и фундаментальной проблемы. Можно констатировать появление в юридической науке самостоятельного научного направления, объединяющего теоретическую и практическую проблематику, связанную с технологиями искусственного интеллекта. Композиция научно-правового знания [1] формируется следующим образом:

1) теоретико-методологические исследования бытия искусственного интеллекта в правовой сфере, создание правовой инфраструктуры

взаимодействия человека и технологий искусственного интеллекта [2];

2) общие вопросы правового регулирования создания и использования искусственного интеллекта [3];

3) отраслевые правовые исследования, оценивающие возможности, последствия, риски опосредования технологий искусственного интеллекта и общественных отношений, связанных с его эксплуатацией, в различных отраслях права и законодательства (антимонопольном [4], банковском [5], корпоративном [6], законодательстве о защите персональных данных [7], об интеллектуальных правах [8]), а также возможности адаптации к этому отраслевых и комплексных правовых институтов (юридическая ответственность, персональные данные, кибербезопасность и т.д.) [9];

4) исследования, нацеленные на разработку теории новых правовых комплексов («цифровое право», «право роботов» [10]), коррелирующих с кибернетической этикой и программными правилами, имплементированными в машинные алгоритмы [11]. Изучаются вопросы о субъектности искусственного интеллекта [12], взаимодействии человека и робототехники в процессе принятия решений [13]. В частности, искусственный интеллект осваивается с позиций когнитивных наук, с точки зрения способности влиять на решения человека в культурном, экономическом и политическом контексте [14];

5) использование искусственного интеллекта в юриспруденции, в том числе для выполнения определенных задач юриста [15].

Анализ исследований приводит к выводу о том, что правоведы в своем научном поиске идут по пути фрагментации полученных знаний. С одной стороны, данный подход ограничивает возможность формирования целостной научной картины предмета исследования, с другой стороны, позволяет доктрине предложить вариативные правовые способы регулирования наиболее важных общественных отношений в области применения искусственного интеллекта, снижения реальных и потенциальных рисков для человека и общества.

Главная научная задача – разработка эффективной модели регулирования – сохраняет свою актуальность. Попытки найти ее решение уже предприняты [16].

Доктринальное освоение юридической проблематики искусственного интеллекта, а также процесс построения регуляторики его применения в различных сферах жизни общества выявили три проблемы, преодоление которых позволит определить перспективы регламентации этой сферы. Они обозначены в научной литературе вместе с прогнозами, возможными сценариями такой регламентации, ни один из которых на момент обнародования результатов исследований еще не стал доминирующим [17].

*Первая проблема* – в области соотношения этики и права, поиска ответа на вопрос, какой регулятор станет основным в упорядочении общественных

отношений, связанных с созданием и использованием искусственного интеллекта. В течение длительного времени преобладало этическое регулирование [18]. Российская и зарубежная практика поддерживала этот тренд.

Выбор в пользу этики был сделан во многом по причине отсутствия острой потребности в таком регулировании и устойчивых, общественно значимых социальных отношений, которые объективно могли бы быть урегулированы правом. Кроме того, этическое регулирование оказалось более пригодным в условиях высокой динамики формирования нового сегмента социального взаимодействия, требующего определенного нормирования. Право в силу своего консерватизма не успевало оперативно реагировать на происходящие процессы.

Соотношение этического и правового регулирования оказалось весьма подвижным. Со временем появился дефицит позитивного социального эффекта от этического регулирования на фоне повышения уровня и объема применения технологий искусственного интеллекта, в то время как упомянутые социальные отношения приобрели признаки и свойства предмета правового регулирования (устойчивость, общественная значимость и др.). В результате усилилась потребность в их упорядочении на основе права. Как известно, этические нормы не снабжены действенными механизмами, обеспечивающими их реализацию и преодоление последствий их несоблюдения (например, компенсация причиненного вреда жизни, здоровью человека или его имуществу). Право в этом смысле более действенный регулятор, способный не только нормировать поведение людей и организаций, но и примирять, а также разрешать конфликты в области создания и использования искусственного интеллекта. Эффективная регуляция возможна только на основе императивов, которыми оперирует право, т.к. на повестке дня – задача избежать серьезных рисков для человека. Этика постепенно и неизбежно становится дополнительным регулятором. В практике разных государств наблюдается стремление развивать правовое регулирование в области использования искусственного интеллекта.

С высокой долей уверенности можно утверждать, что первая проблема в построении адекватной модели регулирования отношений в области создания и использования искусственного интеллекта уже решена. Выбор сделан в пользу права, главное предназначение которого состоит в защите человека, в том числе от негативного воздействия технологических инноваций. Подтверждением этого вывода служат данные о разработках законодательных актов, непосредственно нацеленных на институциализацию искусственного интеллекта в правовой сфере.

Государства находятся на разных этапах формирования подхода к

регулированию рассматриваемых общественных отношений. В настоящее время в формируемых прототипах моделей соответствующего государственного регулирования преобладают акты государственного стратегического планирования [19], но увеличивается и количество законодательных актов [20]. Законотворческая практика в разных государствах разнообразна, однако в ней прослеживается общая черта, состоящая в том, что в основу законодательных решений (от Европейского союза до КНР) положен приоритет прав человека в том виде, в котором они определены во Всеобщей декларации прав человека. В связи с этим можно констатировать «охранительный» уклон в правовом регулировании процессов развития искусственного интеллекта (в этом плане показателен опыт КНР [21]).

В то же время это не означает отказа от этического регулирования, сохраняющего свое действие, в том числе в качестве источника действующих и проектируемых юридических норм. Осмысление динамики формирующегося социального регулирования приводит к выводу о том, что в нем складывается «трансграничный» режим на «линии соприкосновения» права и морали (этики), демонстрируя их взаимное вторжение в предмет, цели и функционал друг друга. Подобная коллаборация этики и права играет позитивную роль в ходе выработки правил поведения, необходимых как для технологий искусственного интеллекта, так и для защиты человека от сопряженных с этим рисков.

Неоднородность технологий искусственного интеллекта, одновременное развитие «сильного» и «слабого», «общего» и «специального», «высокого» и «низкого» искусственного интеллекта [22], множественность его форм (включая сами технологии, а также технические системы, имеющие в своем составе или использующие искусственный интеллект, например беспилотные автомобили [23]) диктует необходимость учета их особенностей при разработке правовых механизмов. В этом заключается *вторая* проблема, связанная с выбором между общим для всех форм и видов искусственного интеллекта и дифференцированным, даже индивидуализированным регулированием, отражающим специфику «интеллектуальных» технологий и их классификацию.

Новейшая практика свидетельствует о том, что выбор сделан в пользу общего правового регулирования общественных отношений по поводу создания, совершенствования, распространения и эксплуатации технологий, которые по тем или иным признакам могут быть идентифицированы как искусственный интеллект, в пределах определенной юрисдикции. Общие (базовые) законы об искусственном интеллекте готовятся в пятнадцати государствах, в частности в ОАЭ, Омане, Катаре, Малайзии, КНР, Таиланде, Филиппинах.

Значительный интерес подставляет закон об искусственном интеллекте, который прошел первое чтение в Европарламенте. Поправки к нему приняты 14 июня 2023 г. Сфера его применения охватывает все секторы (за исключением

военных) и все виды искусственного интеллекта. Законопроект довольно объемный (144 стр.), содержит правила использования различных приложений на основе искусственного интеллекта, в том числе систем распознавания лиц, предиктивной аналитики, генеративного искусственного интеллекта, беспилотных автомобилей. Он разработан на базе подхода к оценке рисков, согласно которому технологии искусственного интеллекта классифицируются по четырем категориям: «неприемлемый риск», «высокий риск», «низкий риск» и «минимальный риск». Возможно, Закон станет первым в мире примером разностороннего регулирования использования искусственного интеллекта, на который в дальнейшем будут ориентироваться власти других стран и корпорации [24].

Так, Бразилия готовит законопроект, который имеет видимые сходства с указанным проектом закона об искусственном интеллекте Европейского союза. Он содержит весьма похожие определение систем искусственного интеллекта, категории рисков, перечень систем высокого риска, предоставляет субъектам права в отношении поставщиков и пользователей систем искусственного интеллекта механизмы управления обеспечением безопасности и ответственности поставщиков этих систем [25].

В целом страны Запада руководствуются принятыми в 2019 г. Организацией экономического сотрудничества и развития Рекомендациями по искусственному интеллекту. В них закреплены принципы защиты персональных данных, фундаментальных прав человека, прозрачности искусственного интеллекта, сотрудничества государств в его разработке и регулировании [26]. Предлагается также регламентировать данную сферу с опорой на ранее принятые рекомендации о трансграничном потоке персональных данных, учитывающие ответственность оператора по факту его контроля над персональными данными вне зависимости от местонахождения.

Специфичен опыт КНР, где подход является одновременно более фрагментированным и потенциально более жестким (разрешительным), поскольку проектируется правило о предварительном одобрении службы безопасности для использования генеративного искусственного интеллекта, ориентированного на потребителя. Западные специалисты критикуют его за введение чрезмерной, по их мнению, ответственности оператора и разработчика искусственного интеллекта и возложение на него ответственности за поведение пользователя [27]. Помимо защиты персональных данных и ответственности разработчика или оператора систем искусственного интеллекта, законопроект предусматривает защиту общественной морали, «основных ценностей социализма» и традиций китайского общества. Он предусматривает фильтрацию данных, на основе которых обучаются системы искусственного интеллекта [28].

В России ведется работа по подготовке законопроекта об искусственном

интеллекте, который нацелен на переход к общему регулированию, установление баланса между безопасностью и экономической эффективностью при использовании данных технологий [29].

Аргументом в пользу введения общего регулирования служит и тот факт, что на стремительное развитие технологий искусственного интеллекта отреагировали не только законодательство, но конституции ряда государств. Конституционное регулирование в классической традиции является базовым для всей правовой системы и в этом смысле составляет основу для общей модели правового опосредования общественных отношений, связанных с созданием и применением искусственного интеллекта.

В современных конституциях появились такие объекты регулирования, как научно-технологическое развитие (в разных вариантах формулировок – Россия, Мозамбик и др.), новые технологии (Бразилия, Венесуэла), информационные и коммуникационные технологии (Боливия, Германия), инновации, информационные услуги, национальная научно-техническая система (Венесуэла).

В некоторых конституциях государству вменяется в обязанность гарантировать, поддерживать и поощрять научно-технологическое развитие. В связи с этим к предметам ведения и (или) полномочиям органов публичной власти отнесены определение государственной политики в области научно-технологического развития, его обеспечения и поддержки (Россия, Боливия, Германия). Встречается обязывание частного сектора вносить свой вклад в создание национальной научно-технической системы (Венесуэла).

В конституциях закреплены права человека на получение выгоды от научно-технического прогресса Нации (Гватемала), на доступ к интернету и информационным технологиям (Индия, Исландия, Мексика, Судан), использование достижений науки и техники (Индонезия). В проекте политической конституции Республики Чили, который был подготовлен Конституционным конвентом Чили и вынесен на национальный плебисцит (4 сентября 2022 г.), но не был поддержан, каталог общеизвестных прав человека предлагалось дополнить правами: на доступную цифровую среду; участие в цифровом пространстве, его устройствах и инфраструктурах; цифровое образование; развитие знаний, мышления и технологического языка; свободное использование интернета и др.

Вместе с тем в некоторых конституциях закреплены критерии допустимости создания и распространения новых технологий, например необходимость корреляции их продвижения с религиозными ценностями («с высочайшим уважением» к ним) и «национальным единством», с целью «развития цивилизации и процветания человечества» (Индонезия), с этическими и правовыми принципами, «регулирующими исследовательскую деятельность в области науки, гуманизма и технологий» Венесуэла, со

служением людям, с уважением к жизни, физической и психической неприкосновенности (Чили), с общественным благополучием (Бразилия).

В целом можно констатировать, что в современных конституциях выявляется несколько акцентов:

1) признание научно-технологического прогресса в качестве конституционной ценности и приоритета общественного развития;

2) стимулирование научно-технологического прогресса;

3) права человека на доступ к технологическим инновациям;

4) охрана конституционных, в том числе религиозных ценностей от возможных негативных последствий технологической революции.

Обновленная в 2020 г. Конституция РФ содержит ряд положений, которые служат своеобразным ответом на вызовы технологической революции и нового технологического уклада. В числе ценностей общественного (в частности, социально-экономического) развития, рассматриваемых в качестве важнейших ориентиров и приоритетов государственной политики (на федеральном и «региональном» уровнях), конституционное закрепление получили научно-технологическое развитие, наука и научный потенциал России как его источники и самостоятельные ценности. Конституцией России по сути учреждена функция государства, состоящая в обеспечении научно-технологических процессов и управлении ими (посредством отнесения к предметам ведения Российской Федерации), а самостоятельным направлением государственной деятельности признается «обеспечение безопасности личности, общества и государства при применении информационных технологий, обороте цифровых данных» (п. «м» ст. 71).

Особенности данного конституционного регулирования состоят, во-первых, в гармоничном сочетании «позитивно-регулятивного» и охранительного подходов к новым технологиям, во-вторых, в признании необходимости защищать всех без исключения субъектов конституционных правоотношений – личность, общество и государство.

Таким образом, обновленная Конституция формирует мировоззренческую парадигму, в определенном смысле идеологию социально-экономического развития России (на основе знаний и высоких технологий), а также критерии для определения пределов допустимого использования технологических инноваций. В ней нашли отражение стимулы научно-технологического развития (в единстве науки как источника и технологий как результата научного поиска) и гарантии защиты от его нежелательных эффектов.

Кроме того, она создает необходимые конституционные ориентиры для достижения стратегических целей России, оформляет конституционную модель целой сферы общественной жизни, именуемой философами «техносферой» (или более широко – «антропотехносферой») с ее ценностными основаниями, институциональной и функциональной основами, объектами и субъектами

правового взаимодействия, правовыми инструментами реализации государственных приоритетов, конституционными гарантиями безопасности для личности, общества и государства.

Это задает правовые параметры развития и «социализации» искусственного интеллекта с учетом рисков и угроз, которые несет в себе перспектива его повсеместного внедрения.

Полагаем, что представленный ранее научному сообществу прогноз оправдался [30]. Выбор между общим и дифференцированным регулированием состоялся. Для завершения построения «рабочей» модели правового опосредования искусственного интеллекта необходимо разрешить *третью проблему*, которая предполагает определение «статуса» искусственного интеллекта в правовой сфере. Его специфическая природа обусловливает потенциальные возможности по-разному его категорировать в праве. Исследования показали, что искусственный интеллект обладает свойствами (или может их приобрести), которые создают основания для того, чтобы с юридической точки зрения идентифицировать его как минимум в трех ипостасях: 1) в качестве объекта субъективного права или правового режима (например, объекта исключительных прав, определенного режима эксплуатации); 2) как инструмент правового регулирования – вспомогательный или основной; 3) в качестве субъекта права.

Системы искусственного интеллекта в национальных правовых системах проявляют себя в качестве объекта гражданских прав. Соответственно любая технология или система искусственного интеллекта – это то, по поводу чего возникают правоотношения. Например, согласно российскому законодательству [31] искусственный интеллект может быть идентифицирован как имущество, охраняемые результаты интеллектуальной деятельности. Некоторые исследователи считают возможным применение к нему режима, установленного для источников повышенной опасности [32], предлагают закрепить за ним статус «имущества, способного действовать автономно» [33]. В международной частноправовой практике киберфизические интеллектуальные системы тоже имеют статус вещи в общем смысле и статус товара в коммерческом отношении. Так, Международная классификация товаров и услуг для регистрации знаков (МКТУ) прямо называет специфический вид товара: «Роботы человекоподобные с искусственным интеллектом» (класс 09, базовый № 090778) [34].

В то же время системы искусственного интеллекта демонстрируют черты не только объекта прав, но и инструмента регулирования, способного стать одним из основных в правовой сфере. Изучение влияния цифровизации на социальное, в том числе правовое регулирование показало наличие у технологий искусственного интеллекта необходимого для этого потенциала. В ряде стран они уже используются в правоприменении, а также в

правотворчестве, для прогнозирования последствий принимаемых нормативных правовых актов, выявления противоречий в законодательстве. Есть основания предполагать, что технологии искусственного интеллекта будут использоваться в правообразовании, интерпретации и даже генерации политической воли (в качестве общей воли, отражающей борьбу и согласование свободных воль в их взаимодействии и взаимообусловленности, государственной, классовой или иной) [35].

В доктрине продолжается дискуссия о правосубъектности искусственного интеллекта и признании его субъектом права, а в практике известны случаи наделения юнитов искусственного интеллекта статусом гражданина [36] и официальные решения, допускающие особый правовой статус роботов в качестве электронных лиц, которые несут ответственность за свои действия, могут принимать независимые решения или иным образом независимо взаимодействовать с третьими лицами [37].

Доктрина уже готова предложить правовые модели, обеспечивающие максимальную автономизацию юнитов искусственного интеллекта в социальных и правовых процессах. Так, их предлагается наделить правом на функционирование, энергосбережение, самообучение. Обсуждаются вопросы о распространении на новых «субъектов» прав человека (в их конституционном смысле), юридического закрепления за ними правового статуса «электронного лица» [38], кибернетических «электронных организмов» [39], «электронных агентов» [40] (модели которых уже разработаны).

В число потенциальных конституционных прав и свобод искусственных интеллектуальных систем включаются: право быть свободным, право на самосовершенствование (обучение и самообучение), право на неприкосновенность (защиту программного кода от произвольного вмешательства третьих лиц), свобода слова, свобода творчества, признание за искусственным интеллектом авторских прав и ограниченное право собственности [41].

В отношении обязанностей искусственного интеллекта предлагается конституционное закрепление трех знаменитых законов робототехники, сформулированных А. Азимовым: непричинение вреда человеку, а равно недопущение своим бездействием его причинения; повиновение всем приказам, отдаваемым человеком, кроме направленных на причинение вреда другому человеку; забота о собственной безопасности, за исключением предыдущих двух случаев [42].

Наделение технологий правосубъектностью объясняется прагматичными соображениями, в числе которых необходимость решения ставших уже очевидными проблем их правовой идентификации в социальном и правовом пространстве, упрощения и оптимизации применения к ним действующих правовых режимов, содействия интеграции и сотрудничеству между человеком

и машиной [43], а также специфика программ, которые в процессе самообучения становятся независимыми от своего создателя. Такие программы могут генерировать результаты, отличные от замысла разработчика, но ставшие возможными благодаря обобщающей способности лежащего в их основе алгоритма [44]. Наиболее важной причиной актуальности обоснования соответствующих правотворческих решений является стремление перенести на сами юниты искусственного интеллекта бремя юридической ответственности за причинение вреда человеку, имуществу, охраняемым законом общественным отношениям.

С точки зрения теории и практики вопросы правосубъектности искусственного интеллекта обсуждаются преимущественно в контексте права интеллектуальной собственности, ответственности за гражданско-правовые деликты, картельных сговоров. Правоведы допускают даже уголовную ответственность искусственного интеллекта [45], оценивают перспективу появления в уголовных кодексах раздела, посвященного мерам уголовно-правового характера, применимым к электронным субъектам [46]. При этом в доктрине отмечается, что ответственность искусственного интеллекта должна сводиться не к карательно-воспитательным мерам, а к установлению действенного механизма управления рисками [47].

Это далеко не полная характеристика практических и доктринальных предпосылок развития идей о правосубъектности искусственного интеллекта. Однако их осмысление в сопряжении с формирующимся теоретическим обоснованием приводит к выводу о том, что юридическое оформление правосубъектности искусственного интеллекта может оказаться вполне реальным. Это, несомненно, влечет рост уязвимости любого человека, поскольку в правовой порядок включается ранее не имевший значения элемент – технология.

Означает ли развитие и социализация технологий искусственного интеллекта фатальную неизбежность придания им самостоятельной правосубъектности, невозможность развивать их в рамках традиционных подходов юриспруденции? Представляется, что на фоне возникших и прогнозируемых рисков, связанных с развитием этого сегмента техносферы [48], до тех пор, пока не созданы необходимые человеку правовые гарантии, спешка с созданием новых исключительных юридических конструкций не нужна. Вполне возможно создать условия для эффективного использования искусственного интеллекта при сохранении его идентичности объекту правового регулирования, на что ориентирует классическая юриспруденция. Данный подход может защитить человека от возможных негативных эффектов дальнейшей социализации искусственного интеллекта, не повлечет наслоения новых гибридных юридических конструкций на отработанные веками базовые институты права, послужит формированию общей модели правового

регулирования.

Таким образом, искусственный интеллект, а также общественные отношения, связанные с его созданием и использованием, постепенно приобретают правовую форму, которая развивается в системе координат, заданной идеями приоритета прав человека, безопасности личности, общества и государства. Принимая во внимание поддерживаемую доктриной практику правого регулирования в данной сфере, можно прогнозировать укоренение разрешительного правового режима оборота технологий и систем искусственного интеллекта, расширение юридических гарантий безопасности человека и его прав, обеспечение правового бытия искусственного интеллекта в строго определённых параметрах. Стоит ожидать экстенсивного развития предмета законодательного регулирования в области искусственного интеллекта, усложнение его структуры и системы юридических норм, обеспечивающих гармоничное сосуществование людей и интеллектуальных систем.

The emergence and development of technologies called artificial intelligence, as well as their intensive use in various areas of human activity, has become a challenge for law and legal doctrine. Artificial intelligence, like a number of other products of the technological revolution, served as a prerequisite for the formation of a specific subject of legal regulation, which posed the task of finding adequate forms and methods of legal influence on social relations in this area.

Artificial intelligence is being mastered by legal scholars as an applied and fundamental problem. It can be stated that an independent scientific direction has emerged in legal science, combining theoretical and practical issues related to artificial intelligence technologies. The composition of scientific and legal knowledge [1] is formed as follows:

1) theoretical and methodological studies of the existence of artificial intelligence in the legal sphere, the creation of a legal infrastructure for the interaction of humans and artificial intelligence technologies [2];

2) general issues of legal regulation of the creation and use of artificial intelligence [3];

3) sectoral legal studies that assess the possibilities, consequences, risks of mediating artificial intelligence technologies and social relations associated with its operation in various branches of law and legislation (antitrust [4], banking [5], corporate [6], protection legislation personal data [7], intellectual rights [8]), as well as the possibility of adapting sectoral and complex legal institutions to this (legal liability, personal data, cybersecurity, etc.) [9];

4) research aimed at developing the theory of new legal complexes (“digital law”, “robot law” [10]), correlating with cybernetic ethics and software rules

implemented in machine algorithms [11]. Questions about the subjectivity of artificial intelligence [12], the interaction of humans and robotics in the decision-making process [13] are being studied. In particular, artificial intelligence is being mastered from the perspective of cognitive sciences, from the point of view of the ability to influence human decisions in a cultural, economic and political context [14];

5) the use of artificial intelligence in jurisprudence, including to perform certain tasks of a lawyer [15].

Analysis of research leads to the conclusion that legal scholars in their scientific research follow the path of fragmentation of acquired knowledge. On the one hand, this approach limits the possibility of forming a holistic scientific picture of the subject of research, on the other hand, it allows the doctrine to offer variable legal ways to regulate the most important social relations in the field of artificial intelligence, reducing real and potential risks for humans and society.

The main scientific task - the development of an effective regulatory model - remains relevant. Attempts to find its solution have already been made [16].

The doctrinal mastery of the legal issues of artificial intelligence, as well as the process of constructing regulations for its use in various spheres of society, have identified three problems, overcoming which will help determine the prospects for regulating this area. They are outlined in the scientific literature along with forecasts and possible scenarios for such regulation, none of which had yet become dominant at the time the research results were published [17].

The first problem is in the area of the relationship between ethics and law, finding an answer to the question of which regulator will become the main one in regulating social relations related to the creation and use of artificial intelligence. Ethical regulation has prevailed for a long time [18]. Russian and foreign practice supported this trend.

The choice in favor of ethics was made largely due to the lack of an urgent need for such regulation and stable, socially significant social relations that could objectively be regulated by law. In addition, ethical regulation turned out to be more suitable in conditions of high dynamics of the formation of a new segment of social interaction that requires a certain standardization. The law, due to its conservatism, did not have time to quickly respond to ongoing processes.

The relationship between ethical and legal regulation turned out to be very fluid. Over time, a shortage of positive social effect from ethical regulation appeared against the backdrop of an increase in the level and volume of application of artificial intelligence technologies, while the mentioned social relations acquired the signs and properties of the subject of legal regulation (sustainability, social significance, etc.).

As a result, the need to regulate them on the basis of law has increased. As is known, ethical standards are not equipped with effective mechanisms to ensure their implementation and overcome the consequences of their non-compliance (for example, compensation for harm caused to human life, health or property). Law in

this sense is a more effective regulator, capable of not only normalizing the behavior of people and organizations, but also reconciling and resolving conflicts in the field of creation and use of artificial intelligence. Effective regulation is possible only on the basis of imperatives that the law operates with, because On the agenda is the task of avoiding serious risks to humans. Ethics gradually and inevitably becomes an additional regulator. In the practice of different states, there is a desire to develop legal regulation in the field of the use of artificial intelligence.

With a high degree of confidence, we can say that the first problem in building an adequate model for regulating relations in the field of creation and use of artificial intelligence has already been solved. The choice was made in favor of law, the main purpose of which is to protect people, including from the negative impact of technological innovations. This conclusion is confirmed by data on the development of legislative acts directly aimed at the institutionalization of artificial intelligence in the legal field.

States are at different stages of developing an approach to regulating the social relations under consideration. Currently, in the prototypes of models of relevant state regulation being formed, acts of state strategic planning predominate [19], but the number of legislative acts is also increasing [20]. Legislative practice in different states is diverse, but it has a common feature that legislative decisions (from the European Union to the PRC) are based on the priority of human rights in the form in which they are defined in the Universal Declaration of Human Rights. In this regard, we can state a “protective” bias in the legal regulation of the development of artificial intelligence (in this regard, the experience of the PRC is indicative [21]).

At the same time, this does not mean a rejection of ethical regulation, which remains in effect, including as a source of existing and projected legal norms. Understanding the dynamics of the emerging social regulation leads to the conclusion that it is developing a “cross-border” regime on the “line of contact” of law and morality (ethics), demonstrating their mutual intrusion into the subject, goals and functionality of each other. Such a collaboration between ethics and law plays a positive role in the development of rules of conduct necessary both for artificial intelligence technologies and for protecting people from the associated risks.

The heterogeneity of artificial intelligence technologies, the simultaneous development of “strong” and “weak”, “general” and “special”, “high” and “low” artificial intelligence [22], the multiplicity of its forms (including the technologies themselves, as well as technical systems that have in their composition or using artificial intelligence, for example, unmanned vehicles [23]) dictates the need to take into account their features when developing legal mechanisms. This is the second problem associated with the choice between common to all forms and types of artificial intelligence and differentiated, even individualized regulation, reflecting the specifics of “intelligent” technologies and their classification.

The latest practice indicates that the choice was made in favor of general legal

regulation of public relations regarding the creation, improvement, distribution and operation of technologies that, for one reason or another, can be identified as artificial intelligence, within a certain jurisdiction. General (basic) laws on artificial intelligence are being prepared in fifteen countries, in particular in the UAE, Oman, Qatar, Malaysia, China, Thailand, and the Philippines.

Of significant interest is the law on artificial intelligence, which passed the first reading in the European Parliament. Amendments to it were adopted on June 14, 2023. The scope of its application covers all sectors (with the exception of the military) and all types of artificial intelligence. The bill is quite voluminous (144 pages) and contains rules for the use of various applications based on artificial intelligence, including facial recognition systems, predictive analytics, generative artificial intelligence, and self-driving cars. It is designed using a risk assessment approach that classifies AI technologies into four categories: “unacceptable risk,” “high risk,” “low risk,” and “minimal risk.” Perhaps the Law will become the world’s first example of comprehensive regulation of the use of artificial intelligence, which will be followed in the future by the authorities of other countries and corporations [24].

Thus, Brazil is preparing a bill that has visible similarities with the above-mentioned draft law on artificial intelligence of the European Union. It contains very similar definitions of artificial intelligence systems, risk categories, a list of high-risk systems, and provides subjects with rights in relation to suppliers and users of artificial intelligence systems with mechanisms for managing the security and liability of suppliers of these systems [25].

In general, Western countries are guided by the Recommendations on Artificial Intelligence adopted in 2019 by the Organization for Economic Cooperation and Development. They enshrine the principles of protection of personal data, fundamental human rights, transparency of artificial intelligence, and cooperation between states in its development and regulation [26]. It is also proposed to regulate this area based on previously adopted recommendations on the cross-border flow of personal data, taking into account the operator’s responsibility for the fact of his control over personal data, regardless of location.

The experience of the People's Republic of China is specific, where the approach is both more fragmented and potentially more restrictive (permissive), as a rule is being drafted for the prior approval of the security service for the use of consumer-oriented generative artificial intelligence. Western experts criticize it for introducing, in their opinion, excessive responsibility for the operator and developer of artificial intelligence and holding him responsible for the user’s behavior [27]. In addition to protecting personal data and the responsibility of the developer or operator of artificial intelligence systems, the bill provides for the protection of public morality, the “core values of socialism” and the traditions of Chinese society. It involves filtering data on the basis of which artificial intelligence systems are trained

[28].

In Russia, work is underway to prepare a bill on artificial intelligence, which is aimed at transitioning to general regulation, establishing a balance between safety and economic efficiency when using these technologies [29].

An argument in favor of introducing general regulation is also the fact that not only legislation, but also the constitutions of a number of states responded to the rapid development of artificial intelligence technologies. Constitutional regulation in the classical tradition is basic for the entire legal system and in this sense forms the basis for a general model of legal mediation of social relations related to the creation and use of artificial intelligence.

Modern constitutions have introduced such objects of regulation as scientific and technological development (in different formulations - Russia, Mozambique, etc.), new technologies (Brazil, Venezuela), information and communication technologies (Bolivia, Germany), innovations, information services, national scientific and technical system (Venezuela).

Some constitutions oblige the state to guarantee, support and encourage scientific and technological development. In this regard, the subjects of jurisdiction and (or) powers of public authorities include the determination of state policy in the field of scientific and technological development, its provision and support (Russia, Bolivia, Germany). There is an obligation for the private sector to contribute to the creation of a national scientific and technological system (Venezuela).

The constitutions enshrine human rights to benefit from the scientific and technological progress of the Nation (Guatemala), to access the Internet and information technology (India, Iceland, Mexico, Sudan), and to use the achievements of science and technology (Indonesia). In the draft political constitution of the Republic of Chile, which was prepared by the Constitutional Convention of Chile and submitted to the national plebiscite (September 4, 2022), but was not supported, it was proposed to supplement the catalog of well-known human rights with the rights to: an accessible digital environment; participation in the digital space, its devices and infrastructures; digital education; development of knowledge, thinking and technological language; free use of the Internet, etc.

At the same time, some constitutions establish criteria for the admissibility of the creation and dissemination of new technologies, for example the need to correlate their promotion with religious values (“with the highest respect” for them) and “national unity”, with the goal of “the development of civilization and the prosperity of mankind” (Indonesia) , with ethical and legal principles “regulating research activities in the fields of science, humanity and technology” Venezuela, with service to people, with respect for life, physical and mental integrity (Chile), with public welfare (Brazil).

In general, it can be stated that modern constitutions reveal several emphases:

1) recognition of scientific and technological progress as a constitutional value

and priority of social development;

2) stimulation of scientific and technological progress;

3) human rights to access technological innovations;

4) protection of constitutional, including religious values from possible negative consequences of the technological revolution.

The Constitution of the Russian Federation, updated in 2020, contains a number of provisions that serve as a unique response to the challenges of the technological revolution and the new technological structure. Among the values of social (in particular, socio-economic) development, considered as the most important guidelines and priorities of state policy (at the federal and “regional” levels), scientific and technological development, science and the scientific potential of Russia as its sources and independent values. The Constitution of Russia essentially established the function of the state, which consists in ensuring scientific and technological processes and managing them (by referring them to the jurisdiction of the Russian Federation), and an independent direction of state activity is recognized as “ensuring the security of the individual, society and the state in the use of information technologies, circulation of digital data "(Clause "m" Article 71).

The features of this constitutional regulation consist, firstly, in the harmonious combination of “positive-regulatory” and protective approaches to new technologies, and secondly, in the recognition of the need to protect all subjects of constitutional legal relations without exception - the individual, society and the state.

Thus, the updated Constitution forms a worldview paradigm, in a certain sense, an ideology of socio-economic development of Russia (based on knowledge and high technologies), as well as criteria for determining the limits of the permissible use of technological innovations. It reflects the incentives for scientific and technological development (in the unity of science as a source and technology as a result of scientific research) and guarantees of protection against its undesirable effects.

In addition, it creates the necessary constitutional guidelines for achieving the strategic goals of Russia, formalizes the constitutional model of an entire sphere of public life, called by philosophers the “technosphere” (or more broadly, the “anthropotechnosphere”) with its value foundations, institutional and functional foundations, objects and subjects of legal interaction, legal instruments for the implementation of state priorities, constitutional guarantees of security for the individual, society and the state.

This sets the legal parameters for the development and “socialization” of artificial intelligence, taking into account the risks and threats that the prospect of its widespread implementation carries.

We believe that the forecast previously presented to the scientific community was justified [30]. The choice between general and differentiated regulation has been made. To complete the construction of a “working” model of legal mediation of artificial intelligence, it is necessary to resolve the third problem, which involves

determining the “status” of artificial intelligence in the legal sphere. Its specific nature determines the potential for categorizing it differently in law. Research has shown that artificial intelligence has properties (or can acquire them) that create grounds for identifying it from a legal point of view in at least three forms: 1) as an object of subjective law or legal regime (for example, an object of exclusive rights , a certain operating mode); 2) as an instrument of legal regulation - auxiliary or main; 3) as a subject of law.

Artificial intelligence systems in national legal systems manifest themselves as an object of civil rights. Accordingly, any technology or artificial intelligence system is something about which legal relations arise. For example, according to Russian legislation [31], artificial intelligence can be identified as property, protected results of intellectual activity. Some researchers consider it possible to apply to it the regime established for sources of increased danger [32], and propose assigning it the status of “property capable of acting autonomously” [33]. In international private law practice, cyberphysical intelligent systems also have the status of a thing in a general sense and the status of a product in a commercial sense. Thus, the International Classification of Goods and Services for the registration of marks (ICGS) directly names a specific type of product: “Humanoid robots with artificial intelligence” (class 09, base number 090778) [34].

At the same time, artificial intelligence systems demonstrate the features of not only an object of rights, but also a regulatory tool that can become one of the main ones in the legal field. The study of the impact of digitalization on social, including legal regulation, showed that artificial intelligence technologies have the necessary potential for this. In a number of countries, they are already used in law enforcement, as well as in lawmaking, to predict the consequences of adopted regulatory legal acts, and to identify contradictions in legislation. There is reason to assume that artificial intelligence technologies will be used in legal formation, interpretation and even the generation of political will (as a general will reflecting the struggle and coordination of free wills in their interaction and interdependence, state, class or other) [35].

The doctrine continues to discuss the legal personality of artificial intelligence and its recognition as a subject of law, and in practice there are cases of granting artificial intelligence units the status of citizens [36] and official decisions allowing a special legal status for robots as electronic persons who are responsible for their actions may make independent decisions or otherwise interact independently with third parties [37].

The doctrine is already ready to propose legal models that ensure maximum autonomy of artificial intelligence units in social and legal processes. Thus, it is proposed to give them the right to operate, save energy, and self-learn. Issues are being discussed about the extension of human rights to new “subjects” (in their constitutional sense), the legal status of an “electronic person” [38], cybernetic “electronic organisms” [39], “electronic agents” [40] (models which have already

been developed).

The potential constitutional rights and freedoms of artificial intelligent systems include: the right to be free, the right to self-improvement (training and self-education), the right to integrity (protection of program code from arbitrary interference of third parties), freedom of speech, freedom of creativity, recognition of copyright for artificial intelligence rights and limited property rights [41].

With regard to the responsibilities of artificial intelligence, a constitutional consolidation of the three famous laws of robotics formulated by A. Azimov is proposed: non-causing harm to a person, as well as preventing one's inaction from causing it; obedience to all orders given by a person, except those aimed at causing harm to another person; concern for one's own safety, with the exception of the previous two cases [42].

The endowment of technologies with legal personality is explained by pragmatic considerations, including the need to solve the already obvious problems of their legal identification in the social and legal space, simplify and optimize the application of existing legal regimes to them, promote integration and cooperation between man and machine [43], as well as the specifics programs that, in the process of self-learning, become independent of their creator. Such programs may produce results that differ from the developer's intent, but are made possible by the generalizing ability of the underlying algorithm [44]. The most important reason for the relevance of justifying the corresponding law-making decisions is the desire to transfer the burden of legal responsibility for causing harm to a person, property, or social relations protected by law to the artificial intelligence units themselves.

From the point of view of theory and practice, issues of the legal personality of artificial intelligence are discussed mainly in the context of intellectual property law, liability for civil torts, and cartel agreements. Legal scholars even admit the criminal liability of artificial intelligence [45], and assess the prospect of the appearance in criminal codes of a section devoted to measures of a criminal legal nature applicable to electronic subjects [46]. At the same time, the doctrine notes that the responsibility of artificial intelligence should not be reduced to punitive and educational measures, but to the establishment of an effective risk management mechanism [47].

人工智慧技術的出現和發展，以及它們在人類活動各個領域的密集使用，已成為法律和法律原則的挑戰。 與科技革命的許多其他產物一樣，人工智慧是特定法律規制主體形成的先決條件，這提出了尋找法律影響該領域社會關係的適當形式和方法的任務。

人工智慧正被法律學者視為一個應用和基本問題。 可以說，法律科學已經出現了一個獨立的科學方向，將人工智慧技術相關的理論和實踐問題結合起來。 科學和法律知識[1]的構成如下：

1）對人工智慧在法律領域的存在進行理論和方法論研究，為人類和人工智慧技術的互動建立法律基礎設施[2]；

2）人工智慧創造和使用的法律規制的一般問題[3]；

3） 部門法律研究，評估調解人工智慧技術及其在各個法律和立法分支（反壟斷[4]、銀行業[5]、公司[6]、保護立法）中運作相關的社會關係的可能性、後果和風險個人資料[7]、智慧財產權[8]），以及為此調整部門和複雜法律機構的可能性（法律責任、個人資料、網路安全等）[9]；

4）旨在發展新法律複合體理論（「數位法」、「機器人法」[10]）的研究，與機器演算法中實施的控制論倫理和軟體規則相關[11]。 關於人工智慧的主觀性[12]、人類和機器人在決策過程中的互動[13]等問題正在研究中。特別是，人工智慧正在從認知科學的角度，從在文化、經濟和政治背景下影響人類決策的能力的角度來掌握[14]；

5）人工智慧在法學中的運用，包括執行律師的某些任務[15]。

研究分析得出這樣的結論：法學學者在科學研究中走的是知識碎片化的道路。 一方面，這種方法限制了形成研究主題的整體科學圖景的可能性，另一方面，它允許該學說提供可變的法律方式來規範人工智慧領域最重要的社會關係，減少人類和社會的實際和潛在風險。

主要的科學任務——發展有效的監管模型——仍然具有現實意義。 人們已經嘗試尋找其解決方案[16]。

對人工智慧法律問題的理論掌握，以及建構人工智慧在社會各個領域使用的法規的過程，已經確定了三個問題，克服這些問題將有助於確定該領域監管的前景。 科學文獻中概述了它們以及此類監管的預測和可能的情景，但在研究結果發表時，這些都尚未成為主導[17]。

第一個問題是在道德與法律的關係領域，尋找哪個監管者將成為監管與人工智慧創造和使用相關的社會關係的主要監管者的問題的答案。 道德監管已經盛行了很長一段時間[18]。 俄羅斯和外國的實踐支持了這一趨勢。

選擇道德，很大程度上是因為缺乏對這種監管的迫切需要，也缺乏可以客觀地受到法律規範的穩定的、具有社會意義的社會關係。 此外，事實證明，道德監管更適合需要一定標準化的社會互動新領域形成的高度動態的條件。由於其保守性，該法律沒有時間對正在進行的流程做出快速反應。

事實證明，道德監管和法律監管之間的關係非常不穩定。 隨著時間的推移，在人工智慧技術應用水平和數量不斷增加的背景下，倫理規制的積極社會效應逐漸顯現不足，而上述社會關係則獲得了法律規制主體的標誌和屬性（可持續性、社會意義等）。

因此，對它們進行法律監管的必要性就增加了。 眾所周知，道德標準並沒有配備有效的機制來確保其實施並克服不遵守道德標準的後果（例如對人的

生命、健康或財產造成的損害進行賠償）。 這個意義上的法律是更有效的監管者，不僅能夠規範人和組織的行為，而且能夠調和和解決人工智慧創造和使用領域的衝突。 只有在法律運作的必要性的基礎上才有可能進行有效的監管，因為 議程上的任務是避免對人類造成嚴重風險。 道德逐漸且不可避免地成為額外的監管者。 在不同國家的實踐中，都希望對人工智慧的使用領域制定法律規制。

我們可以充滿信心地說，建立適當的模型來調節人工智慧的創造和使用領域的關係的第一個問題已經解決。 這項選擇有利於法律，其主要目的是保護人民，包括免受技術創新的負面影響。 直接針對法律領域人工智慧制度化的立法行為的發展數據證實了這個結論。

各國正處於制定規範所考慮的社會關係的方法的不同階段。 目前，在相關國家規制模式的雛形中，國家戰略規劃行為占主導地位[19]，但立法行為的數量也不斷增加[20]。 不同國家的立法實踐各不相同，但有一個共同的特點，即立法決定（從歐盟到中國）均以《世界人權宣言》中定義的人權優先為基礎 對此，我們可以說，人工智慧發展的法律規制存在「保護性」偏見（在這方面，中華人民共和國的經驗具有借鑒意義[21]）。

同時，這並不意味著拒絕道德監管，道德監管仍然有效，包括作為現有和預期法律規範的來源。 了解新興社會規制的動態可以得出這樣的結論：它正在法律和道德（倫理）的「接觸線」上發展一種「跨國」制度，表明它們對社會規制的主體、目標和功能的相互侵入。彼此。 道德與法律之間的這種合作對於制定人工智慧技術和保護人們免受相關風險所需的行為規則發揮著積極作用。

人工智慧技術的異質性，「強」與「弱」、「通用」與「專用」、「高」與「低」人工智慧同時發展[22]，其表現形式（包括技術本身）的多樣性，以及其組成或使用人工智慧的技術系統，例如無人駕駛車輛[23]），表明在製定法律機制時需要考慮其特徵。 這是與所有形式和類型的人工智慧通用和差異化甚至個人化監管之間的選擇相關的第二個問題，反映了「智慧」技術及其分類的具體情況。

最新的實踐表明，這一選擇有利於對在一定管轄範圍內出於某種原因可被識別為人工智慧的技術的創造、改進、分配和運營進行公共關係的一般法律監管。 十五個國家正在製定人工智慧的一般（基本）法律，特別是阿聯酋、阿曼、卡達、馬來西亞、中國、泰國和菲律賓。

令人感興趣的是人工智慧法，該法已在歐洲議會一讀通過。 其修正案於 2023 年 6 月 14 日通過。其適用範圍涵蓋所有部門（除軍事之外）和所有類型的人工智慧。 該法案相當龐大（144 頁），包含基於人工智慧的各種應用程式的使用規則，包括臉部辨識系統、預測分析、產生人工智慧和自動駕駛汽車。

它的設計採用風險評估方法，將人工智慧技術分為四類：「不可接受的風險」「高風險」、「低風險」和「最小風險」。 也許該法將成為世界上第一個對人工智慧使用進行全面監管的範例，未來其他國家和企業的當局也將效仿[24]。

因此，巴西正在準備一項與上述歐盟人工智慧法草案有明顯相似之處的法案。 它包含非常相似的人工智慧系統定義、風險類別、高風險系統列表，並為具有與人工智慧系統供應商和用戶相關的權利的主體提供了管理這些系統供應商的安全和責任的機制。25] 。

整體而言，西方國家以經濟合作暨發展組織 2019 年通過的《人工智慧建議書》為指導。 它們體現了保護個人資料、基本人權、人工智慧透明度以及國家間在人工智慧開發和監管方面合作的原則[26]。 也建議根據先前通過的關於個人資料跨境流動的建議來規範這一領域，同時考慮到運營商對其控制個人資料的責任，無論其位置如何。

中華人民共和國的經驗是具體的，其方法更加分散，而且可能更具限制性（寬鬆），因為正在起草一項規則，要求安全部門事先批准使用面向消費者的生成人工智慧。 西方專家批評它對人工智慧的運作者和開發者引入了過多的責任，並讓他對使用者的行為負責[27]。 除了保護個人資料和人工智慧系統開發者或營運者的責任外，該法案還規定了對公共道德、「社會主義核心價值」和中國社會傳統的保護。 它涉及過濾數據，並在此基礎上訓練人工智慧系統[28]。

俄羅斯正在準備一項人工智慧法案，旨在過渡到一般監管，在使用這些技術時在安全性和經濟效率之間建立平衡[29]。

支持引入一般監管的一個論點還在於，不僅是立法，而且許多州的憲法都對人工智慧技術的快速發展做出了反應。 古典傳統中的憲法規定是整個法律體系的基礎，從這個意義上說，它構成了與人工智慧的創造和使用相關的社會關係的法律調解一般模式的基礎。

現代憲法引入了諸如科學技術發展（不同表述——俄羅斯、莫三比克等）新技術（巴西、委內瑞拉）、資訊和通訊技術（玻利維亞、德國）、創新、資訊服務、國家發展等監管對象。科學和技術系統（委內瑞拉）。

有些憲法規定國家有義務保障、支持、鼓勵科學與技術的發展。 在這方面，公共當局的管轄權和（或）權力包括科學技術發展領域國家政策的確定、規定和支持（俄羅斯、玻利維亞、德國）。 私營部門有義務為建立國家科學技術體係做出貢獻（委內瑞拉）。

憲法規定了從國家科技進步中受益的人權（瓜地馬拉）、使用網路和資訊科技的權利（印度、冰島、墨西哥、蘇丹）以及利用科學技術成果的權利（印尼）。 智利制憲會議起草並提交全國公民投票（2022 年 9 月 4 日）但未獲支

持的智利共和國政治憲法草案中，提議補充知名人物目錄具有以下權利的權利 可訪問的數位環境； 參與數位空間、其設備和基礎設施； 數位化教育； 知識、思維和技術語言的發展； 免費使用網路等

同時，一些憲法規定了新技術的創造和傳播的可接受性標準，例如需要將新技術的推廣與宗教價值觀（“對它們表示最高的尊重”）和“民族團結”聯繫起來，以“文明發展與人類繁榮」為目標（印尼），以「規範科學、人文和技術領域的研究活動」為道德和法律原則，為人民服務，尊重生命，身心健全（智利），公共福利（巴西）。

總的來說，現代憲法揭示了幾個重點：

1）承認科學技術進步是憲法價值和社會發展的優先事項；

2）刺激科技進步；

3）獲得技術創新的人權；

4）保護憲法，包括宗教價值觀，免受技術革命可能產生的負面後果。

2020 年更新的俄羅斯聯邦憲法包含多項條款，作為應對技術革命和新技術結構挑戰的獨特措施。 在社會（特別是社會經濟）發展的價值觀中，科學和技術發展、科學和科學潛力被認為是國家政策（聯邦和「地區」層面）最重要的指導方針和優先事項。俄羅斯作為其來源和獨立價值觀。 俄羅斯憲法本質上確立了國家職能，即確保科學技術過程並對其進行管理（將其歸俄羅斯聯邦管轄），國家活動的獨立方向被認為是「確保安全」個人、社會和國家在使用資訊科技、流通數位資料方面的權利」（第 71 條「m」）。

這項憲法規制的特點，首先在於對新科技的「積極規制」與保護方式的和諧結合，其次在於承認必須無一例外地保護憲法法律關係的所有主體——個人、社會和國家。

因此，更新後的憲法形成了一種世界觀範式，在某種意義上，形成了俄羅斯社會經濟發展的意識形態（以知識和高科技為基礎），以及確定技術創新的允許使用限度的標準。 它反映了科學技術發展的動力（科學作為來源和技術作為科學研究的結果的統一）和防止其不良影響的保證。

此外，它還為實現俄羅斯的戰略目標制定了必要的憲法指導方針，正式確立了整個公共生活領域的憲法模式，哲學家稱之為“技術圈”（或更廣泛地說“人類技術圈” ）及其價值基礎、體制和職能基礎、法律互動的對象和主體、實施國家優先事項的法律文書、個人、社會和國家安全的憲法保障。

考慮到其廣泛實施的前景所帶來的風險和威脅，這為人工智慧的發展和「社會化」設定了法律參數。

我們相信先前向科學界提出的預測是合理的[30]。 已經做出了一般監管和差異化監管之間的選擇。 要完成人工智慧法律調解「工作」模式的構建，需要解決第三個問題，即確定人工智慧在法律領域的「地位」。 其特殊性質

決定了在法律中對其進行不同分類的可能性。 研究表明，人工智慧具有的屬性（或可以獲得這些屬性）為從法律角度以至少三種形式識別它創造了基礎：1）作為主觀法或法律制度的客體（例如，專有權、一定的運營模式）； 2）作為法律調節工具－輔助或主要； 3）作為法律主體。

國家法律體系中的人工智慧系統表現為公民權利的客體。 因此，任何技術或人工智慧系統都會產生法律關係。 例如，根據俄羅斯立法[31]，人工智慧可以被認定為財產，是受保護的智力活動成果。 一些研究人員認為可以對其適用為增加危險源而建立的製度[32]，並建議賦予其「能夠自主行動的財產」的地位[33]。 在國際私法實務中，網路物理智慧系統也具有一般意義上的物的地位和商業意義上的產品的地位。 因此，商標註冊商品和服務國際分類（ICGS）直接命名了特定類型的產品：「具有人工智慧的人形機器人」（09類，基號090778）[34]。

同時，人工智慧系統展現的特徵不僅是權利客體，也是一種監管工具，可以成為法律領域的主要監管工具之一。 對數位化對社會影響（包括法律監管）的研究表明，人工智慧技術具有實現這一目標的必要潛力。 在許多國家，它們已經被用於執法和立法，以預測所採取的監管法律行為的後果，並識別立法中的矛盾。 有理由假設人工智慧技術將被用於法律的形成、解釋甚至政治意願的產生（作為反映自由意志在國家、階級或其他方面的相互作用和相互依存中的鬥爭和協調的普遍意志）[ 35] 。

該學說繼續討論人工智慧的法人資格及其作為法律主體的承認，實踐中存在賦予人工智慧單位公民地位的案例[36]以及官方決定允許機器人作為電子產品的特殊法律地位。對其行為負責的人可以做出獨立決定或以其他方式與第三方獨立互動[37]。

該學說已經準備好提出法律模型，以確保人工智慧單元在社會和法律過程中獲得最大程度的自主權。 因此，建議賦予他們操作權、節能權、自學權。正在討論的問題包括將人權擴展到新的「主體」（憲法意義上的）、「電子人」的法律地位[38]、控制論的「電子有機體」[39]、「電子代理人」[40 ] ]（已經開發的模型）。

人工智慧系統潛在的憲法權利和自由包括：自由權、自我完善權（訓練和自我教育）、完整性權（保護程式碼免受第三方任意幹擾）、自由權言論自由創造力自由、承認人工智慧版權和有限財產權[41]。

關於人工智慧的責任，提出了對阿齊莫夫制定的著名機器人三大法則進行憲法整合：不對人造成傷害，並防止因不作為而造成傷害； 服從一個人所發出的所有命令，但旨在對他人造成傷害的命令除外； 出於對自身安全的擔憂，但前兩例除外[42]。

賦予技術法人資格是出於務實的考慮，包括需要解決其在社會法律空間中

法律認定上已經很明顯的問題，簡化和優化現有法律制度對其的適用，促進技術與技術之間的融合與合作。人和機器[43]，以及在自學習過程中變得獨立於其創造者的特定程序。 此類程序可能會產生與開發人員意圖不同的結果，但這是透過底層演算法的泛化能力實現的[44]。 證明相應立法決定合理性的最重要原因是希望將對受法律保護的人、財產或社會關係造成損害的法律責任轉移給人工智慧單位本身。

從理論和實務的角度來看，人工智慧的法律人格問題主要在智慧財產權法民事侵權責任、卡特爾協議等方面進行討論。 法律學者甚至承認人工智慧的刑事責任[45]，並評估了刑法典中出現專門適用於電子主體的刑事法律性質措施的章節的前景[46]。 同時，該學說指出，人工智慧的責任不應歸結為懲罰和教育措施，而應歸結為建立有效的風險管理機制[47]。

***Литература*** ***References*** ***參考書目***


1. Хабриева Т.Я. Право, искусственный интеллект, цифровизация // Человек и системы искусственного интеллекта / под ред. акад. РАН В.А. Лекторского. СПб.: Юридический центр, 2022. С. 71-97.

2. Хабриева Т.Я., Черногор Н.Н. Будущее права. Наследие академика В.С. Степина и юридическая наука. М.: Российская академия наук; Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации; ИНФРА-М, 2020.

3. Морхат П.М. Искусственный интеллект: правовой взгляд. М.: Буки Веди, 2017; Oskamp A., Lodder A.R. (2006) Introduction: Law, Information Technology, and Artificial Intelligence. In: Lodder, A.R., Oskamp A. (eds.) Information Technology and Lawyers. Dordrecht, Springer, pp. 1–22. URL: https://doi.org/10.1007/1-4020-4146-2_1.

4. Ezrachi, Ariel and Stucke, Maurice E. Artificial Intelligence & Collusion: When Computers Inhibit Competition (April 8, 2015). University of Illinois Law Review, Vol. 2017, 2017, Oxford Legal Studies Research Paper. No. 18/2015, University of Tennessee Legal Studies Research Paper. No. 267. URL: https://ssrn.com/abstract=2591874

5. Wall L.D. Some financial regulatory implications of artificial intelligence // Journal of Economics and Business, 2018, Vol. 100, Issue C. P. 55-63.

6. Möslein F. Robots in the Boardroom: Artificial Intelligence and Corporate Law (September 15, 2017). In: Barfield W., Pagallo U. (eds.) Research Handbook on the Law of Artificial Intelligence, Edward Elgar, (2017/18, Forthcoming). URL: https://www.law.ox.ac.uk/business-law-blog/blog/2017/11/robots-boardroom-

artificial-intelligence-and-corporate-law

7. Artificial Intelligence, Robotics, Privacy and Data Protection. Background document for the 38th International Conference of Data Protection and Privacy Commissioners. 2016. URL: https://edps.europa.eu/data-protection/our-work/publications/other-documents/artificial-intelligence-robotics-privacy-and_en

8. Yu R. The Machine Author: What Level of Copyright Protection is Appropriate for Fully Independent Computer Generated Works? // University of Pennsylvania Law Review. Vol. 165 (5), 2017. P. 1241-1270.

9. Ashley K. D. Artificial Intelligence and Legal Analytics: New Tools for Law Practice in the Digital Age. Cambridge, Cambridge University Press, 2017. URL: https://doi.org/10.1017/9781316761380; Синицин С.А. Российское и зарубежное гражданское право в условиях роботизации и цифровизации. Опыт междисциплинарного и отраслевого исследования: научно-практическое пособие. М.: Инфотропик Медиа, 2020.

10. Юридическая концепция роботизации: монография / отв. ред. Ю.А. Тихомиров, С.Б. Нанба. М.: Проспект, 2019.

11. Balkin J.M. The Three Laws of Robotics in the Age of Big Data // Ohio State Law Journal. Vol. 78, 2017, Forthcoming. Yale Law School, Public Law Research Paper No. 592. URL: https://ssrn.com/abstract=2890965; Leenes R.E., Lucivero F. Laws on Robots, Laws by Robots, Laws in Robots: Regulating Robot Behaviour by Design // Law, Innovation and Technology. 2014, Vol. 6, № 2. P. 194-222. URL: https://ssrn.com/abstract=2546759

12. Saripan H. Are Robots Human? A Review of the Legal Personality Model. World Applied Sciences Journal. 2016, Vol. 34 (6). P. 824–831. URL: doi:10.5829/idosi.wasj.2016.34.6.15672; Лаптев В.А. Понятие искусственного интеллекта и юридическая ответственность за его работу // Право. Журнал Высшей школы экономики. 2019. № 2. С. 87-90; Понкин И.В., Редькина А.И. Искусственный интеллект с точки зрения права // Вестник РУДН. Серия: Юридические науки. 2018. Т. 22. № 1. С. 91-109; Eidenmueller H. The Rise of Robots and the Law of Humans // Oxford Legal Studies Research Paper. 2017, № 27. URL: http://dx.doi. org/10.2139/ssrn.2941001

13. Solum L.B. Legal Personhood for Artificial Intelligences // North Carolina Law Review. Vol. 70. P. 1231, 1992, Illinois Public Law Research Paper № 09-13. URL: https://ssrn.com/abstract=1108671

14. Sunstein C. Of Artificial Intelligence and Legal Reasoning (November 2001). University of Chicago Law School Roundtable. Vol. 8. 2001. URL: http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.289789

15. Barfield W. Issues of Law for Software Agents within Virtual Environments. Presence: Teleoperators and Virtual Environments. 2005, 14 (6). P. 741-748. URL: https://www.semanticscholar.org/paper/Issues-of-Law-for-Software-Agents-within-Virtual-Barfield/b092556c7711413a92876df8587eb24afb7cd0ff; Sartor G. Cognitive

Automata and the Law: Electronic Contracting and the Intentionality of Software Agents. Artificial Intelligence and Law. 2009, 17 (4). P. 253-290. URL: https://doi.org/10.1007/s10506-009-9081-0; Allen R.J. Legal Evidence Scholarship Meets Artificial Intelligence. Applied Artificial Intelligence. 2004, Issue 3-4, Vol. 18. P. 367-389.

16. Хабриева Т.Я., Черногор Н.Н. Будущее права. Наследие академика В.С. Степина и юридическая наука. М.: Российская академия наук; Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации; ИНФРА-М, 2020.

17. Хабриева Т.Я. Право, искусственный интеллект, цифровизация / Человек и системы искусственного интеллекта / под ред. акад. РАН В.А. Лекторского. СПб.: Юридический центр, 2022. С. 71-97.

18. Азиломарские принципы разработки ИИ (2017 г.); Глобальные этические стандарты (Рекомендации) ЮНЕСКО в сфере искусственного интеллекта (2019 г.); Рекомендации ОЭСР по искусственному интеллекту (2019 г.); Ethics guidelines for trustworthy AI. (2019). Разработаны High-level expert group on artificial intelligence set up by the European Commission; ГОСТ Р 59276-2020 «Системы искусственного интеллекта. Способы обеспечения доверия. Общие положения» от 03.01.2021; и др.

19. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта до 2030 года в Российской Федерации (утв. Указом Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490); Стратегия развития робототехники (Япония); Стратегия в сфере искусственного интеллекта (ОАЭ); Дорожная карта развития робототехники в Европе «Robotics 2020» (Европейский Союз); План развития технологий искусственного интеллекта нового поколения (КНР); Дорожная Карта развития робототехники и Национальная робототехническая инициатива (США); Монреальская декларация об ответственном развитии искусственного интеллекта (Канада) и др.

20. Согласно докладу Стэнфордского университета «Индекс искусственного интеллекта – 2023» (AI Index Report 2023. https://aiindex.stanford.edu/report/) в 2016 г. был принят всего один закон, то в 2018 г. их было уже 12, в 2021 г. – 18, в 2022 г. – 37 законов.

21. См. далее.

22. Future of Artificial Intelligence Act of 2017 H.R.4625 US; European Commission. White paper on artificial intelligence: a European approach to excellence and trust.2020, etc.

23. NIST (2019) U.S. LEADERSHIP IN AI: A Plan for Federal Engagement in Developing Technical Standards and Related Tools. URL: https://www.nist.gov/system/files/documents/2019/08/10/ai_standards_fedengagement_plan_9aug2019.pdf.

24. https://www.kommersant.ru/doc/5979060

25. https://www.taylorwessing.com/en/interface/2023/ai---are-we-getting-the-balance-between-regulation-and-innovation-right/ai-regulation-around-the-world

26. Принята Советом ОЭСР на уровне министров 22 мая 2019 года по предложению Комитета по политике цифровой экономики (CDEP). См.: Recommendation of the Council on Artificial Intelligence. OECD Legal Instruments. OECD/LEGAL/0449. 2022. P. 2-4. URL: https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/oecd-legal-0449.

27. DigiChina.

28. Measures for the Management of Generative Artificial Intelligence Services (Draft for Comment). URL: https://digichina.stanford.edu/work/translation-measures-for-the-management-of-generative-artificial-intelligence-services-draft-for-comment-april-2023/.

29. Правительство разработает закон об искусственном интеллекте // РБК, 28.06.2023. URL: https://www.rbc.ru/rbcfreenews/649b950c9a794732a27a407b?ysclid=llgnqmd69c307592494

30. Хабриева Т.Я. Право, искусственный интеллект, цифровизация // Человек и системы искусственного интеллекта / под ред. акад. РАН В.А. Лекторского. СПб.: Юридический центр, 2022. С. 71–97.

31. Федеральный закон от 24 апреля 2020 г. № 123-ФЗ «О проведении эксперимента по установлению специального регулирования в целях создания необходимых условий для разработки и внедрения технологий искусственного интеллекта в субъекте Российской Федерации – городе федерального значения Москве и внесении изменений в статьи 6 и 10 Федерального закона “О персональных данных”»; Гражданский кодекс Российской Федерации.

32. Лаптев В.А. Понятие искусственного интеллекта и юридическая ответственность за его работу // Право. Журнал Высшей школы экономики. 2019. № 2. С. 79-102.

33. Архипов В.В., Наумов В.Б. О некоторых вопросах теоретических оснований развития законодательства о робототехнике: аспекты воли и правосубъектности // Закон. 2017, № 5. С. 157–170.

34. Международная классификация товаров и услуг для регистрации знаков (МКТУ) (11-я редакция, изд. 1-е) // Правовая система «Кодекс». https://docs.cntd.ru/document/420273241

35. Сурков В. Безлюдная демократия и другие политические чудеса 2121 года. URL: https://www.russiapost.su/archives/265026.

36. В 2017 г. робот по имени София получил подданство Саудовской Аравии.

37. European Parliament Resolution of 16 February 2017 with recommendations to the Commission on Civil Law Rules on Robotics (2015/2103(INL)). URL: http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P8-TA-2017-0051+0+DOC+XML+V0//EN

38. Правосубъектность: общетеоретический, отраслевой и международно-правовой анализ: сборник материалов к XII Ежегодным научным чтениям памяти С.Н. Братуся. М.: ИЗиСП, Статут, 2017; Морхат П.М. Право и искусственный интеллект: монография / под. ред. И.В. Понкина. М.: ЮНИТИ-ДИАНА, 2017. С. 277, 303–358; Ястребов О.А. Правосубъектность электронного лица: методологические подходы // Труды института государства и права РАН. 2018. Том. 13. № 2. С. 36-55.

39. Мусина К. С. (2023). Идентификация правосубъектности искусственного интеллекта: кросснациональный анализ законодательств зарубежных стран. // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Юридические науки. 2023. Т. 27. №1. С. 135–147.

40. Дмитрий Гришин представил проект регулирования правового статуса роботов в России. (2016, 17 декабря). URL: https://robotrends.ru/pub/1650/dmitriy-grishin-predstavil-proekt-regulirovaniya-pravovogostatusa-roboto

41. Филипова И.А., Коротеев В.Д. Будущее искусственного интеллекта: объект или субъект права? // Journal of Digital Technologies and Law. 2023, 1(2), С. 371.

42. Архипов, В.В., Наумов, В.Б. Указ. соч. С. 157–170.

43. Морхат П.М. Указ. соч. С. 277–358.

44. Войниканис Е.А., Семенова Е.В., Тюляев Г.С. Искусственный интеллект и право: вызовы и возможности самообучающихся алгоритмов // Вестник ВГУ. Серия: Право. 2018. № 4. С. 137.

45. Radutniy O. E. Criminal liability of the artificial intelligence // Проблеми законності. 2017, вып. 138. С. 132-141. URL: file:///C:/Users/%D0%9A%D1%83%D1%80%D0%B1%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%20%D0%A0%D0%90/Downloads/Criminal_liability_of_the_artificial_intelligence.pdf

46. Там же.

47. Правовые аспекты использования искусственного интеллекта: актуальные проблемы и возможные решения: доклад НИУ ВШЭ / рук. авт. кол: В.Б. Наумов, С.А. Чеховская, А.Ю. Брагинец, А.В. Майоров. М.: Издательский дом Высшей школы экономики, 2021. С. 12.

48. На такого рода риски указывают авторы открытого письма представителей IT-индустрии от 30 марта 2023 г. свыше 1 тыс. чел. – о необходимости приостановить на шесть месяцев обучение систем искусственного интеллекта, а также лидеры в разработке технологий ИИ, в частности Джеффри Хинтон, Илон Маск.

DOI 10.18699/sblai2023-34
УДК 664.4; 004.93'1

# Автоматизированная сортировка яблок системой технического зрения с искусственной нейронной сетью глубокого обучения

# Automated sorting of apples by vision system with deep learning artificial neural network

# 透過具有深度學習人工神經網路的技術視覺系統自動分類蘋果

**Казакевич П.П.,[1] Комлач Д.И.,[2] Юрин А.Н.,[2], Воробей А.С.[2]**

*[1]Президиум Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь*
*[2]РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», Минск, Беларусь*
*[1]Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*
*[2]Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization, Minsk, Belarus*
*[1]白俄羅斯國家科學院主席團，白俄羅斯明斯克*
*[2]白俄羅斯國家科學院農業機械化科學與實踐中心，白俄羅斯明斯克*
*[1]oan2011@mail.ru*

Обязательной операцией при товарной обработке плодов является сортирование. Использование автоматизированных сортировальных машин позволяет значительно повысить качество сортирования и производительность [1]. Для создания автоматизированной линии сортировки плодов обоснована конструктивно-технологическая схема системы технического зрения (СТЗ) состоящая из оптического модуля, электронного блока управления и конвейера. В процессе исследования обоснованы одно признаковый тип потока плодов с одномерной, равно интервальной их подачей и принудительным вращением, разработаны модель и алгоритм функционирования СТЗ, программное обеспечение на основе алгоритмов сегментации цветов плодов и трекинга, а также глубокого обучения (ИНС) обеспечивающие распознавание размеров плодов и повреждений от механического воздействия, вредителей и болезней. В качестве основы ИНС использовалась сегментационная сеть lraspp mobilenetV3 из пакета mmsegmentation PyTourch. Обучение ИНС проводилось на изображениях реальных яблок посредством программы LabelMe. На изображении плода размечались его помологические особенности, а также 10 различных классов дефектов. Полученные размеченные изображения плодов сформировали эталонную обучающую выборку. Проверка эффективности работы ИНС показала, что точность определения высшего сорта яблок составляет 0,763, первого – 0,825, второго – 0,851, без сортовых яблок – 0,864. Созданная СТЗ с ИНС применена в линии сортировки яблок ЛСП-4 разработанной РУП «НПЦ НАН Беларуси по

механизации сельского хозяйства», приемочные испытания которой показали, что она обеспечивает точность сортировки по размеру – 75,4%, по наличию дефектов – 73,1 % и производительность труда 1,8 т/ч.

A mandatory operation in the commodity processing of fruits is sorting. The use of automated sorting machines can significantly improve the quality of sorting and productivity [1]. To create an automated fruit sorting line, a structural and technological scheme of a technical vision system (VTS) consisting of an optical module, an electronic control unit and a conveyor is substantiated. In the course of the study, one indicative type of fruit flow with one-dimensional, equally interval feeding and forced rotation was substantiated, a model and algorithm for the functioning of the STZ, software based on fruit color segmentation and tracking algorithms, as well as deep learning (INS) were developed that provide recognition of fruit sizes and mechanical damage, pests and diseases. The segmentation network lraspp mobilenetV3 from the mmsegmentation PyTourch package was used as the basis of the ANN. ANN training was carried out on images of real apples using the LabelMe program. On the image of the fetus, its pomological features were marked, as well as 10 different classes of defects. The resulting labeled images of fruits formed a reference training set. Checking the efficiency of the ANN showed that the accuracy of determining the highest grade of apples is 0.763, the first - 0.825, the second - 0.851, without varietal apples - 0.864. The created STZ with INS was used in the LSP-4 apple sorting line developed by RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization", the acceptance tests of which showed that it ensures the accuracy of sorting by size - 75.4%, by the presence of defects - 73.1% and labor productivity 1.8 t/h.

水果商業加工中的一項強制性操作是分選。 使用自動化分類機可以顯著提高分類品質和生產力[1]。 為了創建自動化水果分選線，我們論證了技術視覺系統（VS）的設計和技術方案，該系統由光學模組、電子控制單元和輸送機組成。 在研究過程中，證實了具有一維、等間隔進給和強制旋轉的單一特徵類型的水果流，建立了 STZ 運行的模型和算法，基於水果顏色分割和跟踪算法的軟體，以及隨著深度學習(ANN) 的發展，可確保識別水果大小以及機械衝擊、病蟲害造成的損害。 mmsegmentation PyTourch 套件中的分段網路 lraspp mobilenetV3 被用作 ANN 的基礎。 使用 LabelMe 程式對人工神經網路進行真實蘋果影像的訓練。 胎兒的圖像上標示了其果實特徵，以及 10 種不同類別的缺陷。 由此產生的水果標記圖像形成了參考訓練集。 檢查 ANN 的效率表明，確定最高等級蘋果的準確度為 0.763，第一級為 0.825，第二級為 0.851，無高級蘋果時為 0.864。 所創建的帶有神經網路的 STZ 應用於共和國單一企業「白俄羅斯國家科學院農業機械化科學與生產中心」開發的 LSP-4 蘋

果分選線，驗收測試表明，該分選線保證了分選精度尺寸- 75.4%，缺陷的存在- 73.1%。勞動生產力 1.8 噸/小時。

***Литература*** ***References*** ***參考書目***

1. Kazakevich P. P., Yurin A. N., Prokopovich G. A. Vision system for apple defects recognition: substantiation, development, testing. National acad. Sciences of Belarus. Ser. ag-rar. navuk. 2021. T. 59, No. 4. p. 488-500. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-4-488-500.

2. Yurin A. N. Innovative technological processes and technical complexes for intensive horticulture in Belarus / A. N. Yurin. - Minsk: Belarusian Science, 2022. - 208 p.

DOI 10.18699/sblai2023-55
УДК 631.1

# *Беспилотные воздушные суда как инструмент цифровой трансформации сельского хозяйства*

# *Unmanned aerial vehicles as a tool for digital transformation of agriculture*

# *無人機作為農業數位轉型的工具*

Лобачевский Я.П., Курбанов Р.К., Захарова Н.И.

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ", Москва, Россия,*
*Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM", Moscow, Russia,*
*聯邦國家預算科學研究機構“聯邦科學農業工程中心 VIM”，俄羅斯莫斯科*
*uav.vim@mail.ru*

Использование беспилотных воздушных судов (БВС) в сельском хозяйстве с применением алгоритмов машинного обучения является одним из перспективных направлений в области развития искусственного интеллекта в сельском хозяйстве [1-3]. С помощью камер, лидаров, различных сенсоров и системы опрыскивания БВС собирают данные, передают их на обработку и выполняют технологические операции [4-5].

Для анализа данных мониторинга применяются алгоритмы машинного обучения и нейронные сети. Они позволяют обрабатывать большие объемы данных и выделять наиболее значимые факторы, которые влияют на урожайность и качество продукции. На основе этих данных формируются эффективные управленческие решения [6-7].

Применение БВС с технологиями искусственного интеллекта способны полностью трансформировать методы возделывания сельскохозяйственных культур для выполнения стратегии цифровой трансформации сельского хозяйства [8-10].

The use of unmanned aerial vehicles (UAV) in agriculture using machine learning algorithms is one of the promising areas in the development of artificial intelligence in agriculture [1-3]. Using cameras, lidars, various sensors and a spraying system, UAVs collect data, transmit it for processing and perform technological operations [4-5].

Machine learning algorithms and neural networks are used to analyze monitoring data. They allow you to process large volumes of data and highlight the most significant factors that affect the yield and quality of products. Based on these

data, effective management decisions are formed [6-7].

The use of UAVs with artificial intelligence technologies can completely transform the methods of cultivating crops to implement the strategy of digital transformation of agriculture [8-10].

利用機器學習演算法在農業中使用無人機（UAV）是農業人工智慧發展的有前景的領域之一[1-3]。 無人機使用攝影機、光達、各種感測器和噴霧系統收集資料、傳輸資料進行處理並執行技術操作[4-5]。

機器學習演算法和神經網路用於分析監測數據。 它們使您能夠處理大量數據並突出顯示影響產品產量和品質的最重要因素。 基於這些數據，形成有效的管理決策[6-7]。

使用具有人工智慧技術的無人機可以徹底改變農作物的種植方式，並實施農業數位轉型策略[8-10]。

***Литература*** ***References*** ***參考書目***


1. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. (2021) Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства, Сельскохозяйственные машины и технологии. 15(4), 6-10.

2. Костомахин М. Н., Курбанов Р.К., Кынев Н.Г. (2018) Точное земледелие расширяет свои границы, Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 3, 7-9.

3. Мазитов Н.К., Шогенов Ю.Х., Ценч Ю.С. (2018) Сельскохозяйственная техника: решения и перспективы, Вестник ВИЭСХ. 3(32), 94-100.

4. Pathak H., Igathinathane C., Zhang Z., Archer D., Hendrickson J. (2022) A review of unmanned aerial vehicle-based methods for plant stand count evaluation in row crops, Computers and Electronics in Agriculture. 198, 107064.

5. Qulmatova B.A., Buranova D.A. (2021) The usage of digital agricultural technologies in Uzbekistan, Scientific progress. 1, 1761-1764.

6. Holzinger A., Saranti A., Angerschmid A., Retzlaff C.O., Gronauer A., Pejakovic V., Medel-Jimenez F., Krexner T., Gollob C. (2022) Digital transformation in smart farm and forest operations needs human-centered AI: challenges and future directions, Sensors. 22(8), 3043

7. Годжаев З.Д., Шевцов В.Г., Лавров А.В., Ценч Ю.С., Зубина В.А. (2019) Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России до 2030 года (Прогноз), Технический сервис машин. 4(137), 220-229.

8. Wang D., Cao W., Zhang F., Li Z., Xu S., Wu X. (2022) A review of deep learning in multiscale agricultural sensing, Remote sensing. 14, 559.

9. Sishodia R.P., Ray R.L., Singh S.K. (2020) Applications of remote sensing in precision agriculture: A review, Remote sensing. 12, 3136.

10. Saiz-Rubio V., Rovira-Más F. (2020) From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management, Agronomy. 10, 207.

DOI 10.18699/sblai2023-56
УДК 637.112

# *Возможности современных подходов в искусственном интеллекте для прорывных технологий в сельскохозяйственном производстве*

# *Possibilities of modern approaches in artificial intelligence for breakthrough technologies in agricultural production*

# *現代人工智慧方法在農業生產中實現突破性技術的可能性*

Лачуга Ю.Ф., Дорохов А.С.

*Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия*
*Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia*
*聯邦科學農業工程中心 VIM，俄羅斯莫斯科*
*dorokhov.vim@yandex.ru*

В настоящее время перед сельскохозяйственной наукой стоит ряд задач, связанных с повышением урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности животных, обеспечением роста производительности труда, исключением ручного труда, снижением потерь сельскохозяйственной продукции и повышением ее качества. Одним из путей решения обозначенных задач является применение передовых цифровых и интеллектуальных технологий [1].

Искусственный интеллект находит применение во всех подотраслях АПК и позволяет создавать интеллектуальные сельскохозяйственные предприятия, функционирование которых базируется на управлении состоянием растений и животных, применении сельскохозяйственной робототехники для мониторинга состояния биологических объектов, реализации принятых решений и выполнения базовых технологических операций. В основе создаваемых в настоящее время систем управления лежит принцип обучения искусственного интеллекта по выработке оптимальных управленческих решений на основе анализа базы данных непрерывного мониторинга множества различных параметров растений, животных и окружающей среды. Система управления за счет использования нейронных сетей или других технологий искусственного интеллекта принимает решения о проведении запланированных технологических операций, корректировке параметров работы технических средств или осуществлении других внеплановых работ [2]. Для реализации принятых решений используется робототехника, оснащенная встроенной системой ИИ, способной за счет самообучения принимать решения без заранее заданного алгоритма [3].

Разработка и применение систем искусственного интеллекта в сельском

хозяйстве сопряжены с рядом проблем, связанных с осуществлением мониторинга и управления динамическими биологическими системами в условиях изменяющейся внешней среды; необходимостью формирования большой базы данных и выявления влияния различных факторов на производство в условиях длинного производственного цикла; необходимостью обеспечения адаптивности применяемых интеллектуальных решений к изменениям агроклиматических и технико-технологических факторов производства; влиянием факторов внешней среды (запыленность, загрязнение, уровень освещения и др.) на работу технических систем (компьютерного зрения); влиянием изменений технически сложной среды, требующей соответствующих инфраструктуры, высококвалифицированных кадров, дорогого и сложного оборудования. Решение данных проблем является залогом развития интеллектуальных технологий в сельском хозяйстве.

Применяемый в сельском хозяйстве искусственный интеллект должен отвечать ряду требований: при его создании необходимо обеспечить оптимальный объем и высокое качество используемых для обучения данных при соблюдении защиты персональных данных; информация об интеллектуальной системе должна быть прозрачной и доступной для пользователей; должны быть заложены функции автоматического ведения журнала событий и возможность контроля интеллектуальных систем человеком; должна быть обеспечена необходимая точность, надежность и кибербезопасность интеллектуальных систем; должны быть предусмотрены системы внутреннего контроля и управления рисками.

Currently, agricultural science faces a number of challenges related to increasing crop yields and animal productivity, ensuring increased labor productivity, eliminating manual labor, reducing losses of agricultural products and improving their quality. One of the ways to solve the identified problems is the use of advanced digital and intelligent technologies [1].

Artificial intelligence is used in all sub-sectors of the agro-industrial complex and makes it possible to create intelligent agricultural enterprises, the functioning of which is based on managing the condition of plants and animals, the use of agricultural robotics to monitor the condition of biological objects, implementing decisions and performing basic technological operations. The management systems currently being created are based on the principle of training artificial intelligence to develop optimal management decisions based on the analysis of a database of continuous monitoring of many different parameters of plants, animals and the environment. The control system, through the use of neural networks or other artificial intelligence technologies, makes decisions on carrying out planned technological operations, adjusting the operating parameters of technical equipment, or carrying out other unscheduled work [2]. To implement the decisions made,

robotics is used, equipped with a built-in AI system, capable of making decisions without a predetermined algorithm through self-learning [3].

The development and application of artificial intelligence systems in agriculture are associated with a number of problems associated with monitoring and managing dynamic biological systems in a changing external environment; the need to create a large database and identify the influence of various factors on production in conditions of a long production cycle; the need to ensure the adaptability of the applied intelligent solutions to changes in agroclimatic and technical and technological factors of production; the influence of environmental factors (dust, pollution, lighting level, etc.) on the operation of technical systems (computer vision); the influence of changes in a technically complex environment requiring appropriate infrastructure, highly qualified personnel, and expensive and complex equipment. Solving these problems is the key to the development of intelligent technologies in agriculture.

Artificial intelligence used in agriculture must meet a number of requirements: when creating it, it is necessary to ensure the optimal volume and high quality of data used for training while maintaining the protection of personal data; information about the intelligent system must be transparent and accessible to users; functions of automatic event logging and the ability to control intelligent systems by humans must be provided; the necessary accuracy, reliability and cybersecurity of intelligent systems must be ensured; systems of internal control and risk management must be provided.

目前，農業科學面臨提高農作物產量和動物生產力、確保提高勞動生產力、消除體力勞動、減少農產品損失和提高農產品品質等諸多挑戰。 解決已發現問題的方法之一是使用先進的數位化和智慧化技術[1]。

人工智慧應用於農業工業綜合體的所有子部門，使創建智慧農業企業成為可能，其運作基於管理植物和動物的狀況，使用農業機器人技術來監測農業狀況生物對象，執行決策並執行基本技術操作。 目前正在創建的管理系統是基於訓練人工智慧的原則，以根據對植物、動物和環境的許多不同參數的連續監測的資料庫的分析來製定最佳管理決策。 控制系統透過利用神經網路或其他人工智慧技術，做出有計劃的製程操作、調整製程設備的運作參數或進行其他非預定工作的決策[2]。 為了執行所做的決策，使用了配備內建人工智慧系統的機器人，能夠透過自學習在沒有預定演算法的情況下做出決策[3]。

人工智慧系統在農業中的開發和應用與在不斷變化的外部環境中監測和管理動態生物系統相關的許多問題有關； 需要建立大型資料庫，識別生產週期長的情況下各種因素對生產的影響； 需要確保所應用的智慧解決方案能夠適應農業氣候和生產技術和工藝要素的變化； 環境因素（灰塵、污染、照明水平等）對技術系統（電腦視覺）運作的影響； 技術複雜的環境中變化的影響

需要適當的基礎設施、高素質人員以及昂貴而複雜的設備。 解決這些問題是農業智慧化技術發展的關鍵。

用於農業的人工智慧必須滿足一些要求：在創建人工智慧時，需要確保用於培訓的資料的最佳數量和高質量，同時保持對個人資料的保護； 智慧型系統的資訊必須透明且可供使用者存取； 必須提供自動事件記錄功能和人為控制智慧系統的能力； 必須確保智慧系統必要的準確性、可靠性和網路安全；必須提供內部控制和風險管理系統。

***Литература*** ***References*** ***參考書目***

1. Развитие интенсивных машинных технологий, роботизированной техники, эффективного энергообеспечения и цифровых систем в агропромышленном комплексе / Ю. Ф. Лачуга, А. Ю. Измайлов, Я. П. Лобачевский, Ю. Х. Шогенов // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 6(264). – С. 2-9. – DOI 10.33267/2072-9642-2019-6-2-8. – EDN HEVLDT.

2. Биомашсистемы, искусственный интеллект и агрокиборги / В. И. Черноиванов, Г. К. Толоконников, Ю. Х. Шогенов, А. С. Дорохов // Чтения академика В. Н. Болтинского : Сборник статей, Москва, 25–26 января 2022 года. Том Часть 1. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Сам Полиграфист", 2022. – С. 40-46. – EDN LMYWPJ.

3. I A Starostin, A V Eshchin and S A Davydova Global trends in the development of agricultural robotics // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. №1138 (2023) 012042.

DOI 10.18699/sblai2023-57
УДК 004.8

# *Как измерить искусственный интеллект?*
# *How to measure artificial intelligence?*
# *如何衡量人工智慧？*

Каляев И.А.
*академик РАН, Научно-исследовательский институт многопроцессорных вычислительных и управляющих систем, Таганрог, Россия*
*Academician of the Russian Academy of Sciences, Research Institute of Multiprocessor Computing and Control Systems, Taganrog, Russia*
*俄羅斯科學院院士，多處理器運算與控制系統研究所，俄羅斯塔甘羅格*
*kaliaev@niimvus.ru*

***Аннотация.*** В настоящее время все чаще используют такие понятия как «слабый» и «сильный» искусственный интеллект, однако до сих пор отсутствуют их общепринятые определения. В статье проанализированы формальные и неформальные представления о сути искусственного интеллекта. Предложен подход количественному измерению «мощности» искусственного интеллекта, что делает возможным проводить сравнение различных интеллектуальных компьютерных систем друг с другом.

***Ключевые слова:*** искусственный интеллект, «слабый» и «сильный» искусственный интеллект, интеллектуальная работа, интеллектуальная мощность компьютерной системы.

***Annotation.*** Currently, such concepts as “weak” and “strong” artificial intelligence are increasingly used, but there are still no generally accepted definitions. The article analyzes formal and informal ideas about the essence of artificial intelligence. An approach has been proposed to quantitatively measure the “power” of artificial intelligence, which makes it possible to compare various intelligent computer systems with each other.

***Keywords:*** artificial intelligence, “weak” and “strong” artificial intelligence, intellectual work, intellectual power of a computer system.

***註解。*** 目前，「弱」和「強」人工智慧等概念越來越多地被使用，但仍然沒有普遍接受的定義。 文章分析了關於人工智慧本質的正式和非正式的想法。 人們提出了一種定量測量人工智慧「力量」的方法，這使得可以對各種智慧型電腦系統進行相互比較。

***關鍵字：*** 人工智慧，「弱」和「強」人工智慧，智力工作，電腦系統的智力。

## *1. Введение*

Проблема создания искусственного интеллекта (ИИ) в последнее время все сильнее будоражит умы человечества. В мире ведутся многочисленные исследования и разработки в этой области. Каждое развитое государство считает своим долгом создать национальную стратегию или программу развития ИИ. Такая стратегия принята в 2019 году и в нашей стране [1].

Существуют разнообразные формулировки, что такое искусственный интеллект, однако большинство из них имеет недостаточно четкий и зачастую спорный характер [2, 3]. Так, в национальной стратегии развития ИИ в России

указано: «ИИ – комплекс технологических решений, позволяющих имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решения без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека» [1].

Справедливость данного определения вызывает большие сомнения. Во-первых, под него, например, подпадает обычный калькулятор, поскольку он выполняет когнитивные функции человека (а арифметические и тригонометрические вычисления, безусловно, относятся к когнитивным функциям). При этом результаты, получаемые калькулятором, по скорости и точности вычислений во много раз превышают результаты аналогичной интеллектуальной деятельности человека. Следовательно, исходя из данного определения, калькулятор обладает искусственным интеллектом.

Во-вторых, большое недоумение вызывает фраза «решения, позволяющие имитировать когнитивные функции человека». Попугай тоже может имитировать когнитивные функции человека (а именно человеческую речь), но обладает ли он при этом интеллектом – это большой и спорный вопрос. Кроме того, современные чат-боты так хорошо имитируют разумное человеческое общение, что зачастую очень трудно понять с кем ты разговариваешь – с роботом или человеком. Но именно имитируют, а не ведут разумный разговор. Поэтому утверждать, что чат-бот обладает искусственным интеллектом, конечно же, нонсенс.

Несмотря на то, что до сих пор мы слабо представляем, что же вообще такое искусственный интеллект, в последнее время все чаще стали говорить о «сильном» и «слабом» ИИ [2, 4]. При этом подспудно понимается, что «сильный» ИИ должен быть соизмерим с человеческим интеллектом, а «слабый» ИИ выполняет (или имитирует) отдельные когнитивные функции человека, такие как распознавание образов, речь, слух и т.д. Однако какого-либо четкого способа деления ИИ на «слабый» и «сильный» до сих пор не предложено.

Для того, чтобы понять, что же такое «слабый» и «сильный» искусственный интеллект и провести грань между ними необходимо, во-первых, дать более-менее четкое определение самого ИИ, а во-вторых, предложить количественную меру измерения искусственного интеллекта для сравнения различных компьютерных систем по их «интеллектуальной мощности». Именно ответам на эти вопросы и посвящена настоящая работа.

### *2. Определения понятия «искусственный интеллект»*

Исследования в области искусственного интеллекта зародились в 50-х годах прошлого века, и с тех пор до сих пор остается неразрешенным вопрос – что следует понимать под ИИ. Конечно, идеал ИИ – это компьютерная система,

обладающая интеллектом, сравнимым с человеческим. И в начальный период эры искусственного интеллекта существовала уверенность, что создание такого ИИ не за горами. Однако прошло уже более 70 лет, а эта цель все так же далека, как и в начале пути. И хотя мы научились создавать системы, которые достаточно хорошо имитируют (именно имитируют!) различные человеческие функции, они по-прежнему имеют жесткие ограничения по области применения, требовательны к исходным данным, неспособны разобраться в ситуациях, которые немного отклоняются от тех, на которые они обучены, неспособны перепрофилировать себя для решения новых задач без значительного участия человека и т.д.

С самого начала ученые задумывались над тем, каким образом можно отличить систему с ИИ, от системы, которая ИИ не обладает. Первый такой способ был предложен Аленом Тьюрингом в статье «Вычислительные машины и разум», опубликованной в далеком 1950 году [5]. Он предложил процедуру, которая, по его мнению, позволит определить, когда вычислительная машина станет сравнимой по интеллекту с человеком. Суть этой процедуры заключается в следующем. Человек взаимодействует с одним компьютером и одним человеком. На основании ответов на вопросы он должен определить − с кем он разговаривает: с человеком или с компьютером. Задача компьютерной программы − ввести человека в заблуждение, заставив сделать неверный выбор.

Однако применение данного теста показало его практическую бесполезность, поскольку современные чат-боты легко «вводят в заблуждение» людей, имитируя «разумный» диалог с ними и не обладая при этом никаким ИИ. Ежегодно проводятся соревнования чат-ботов на тест Тьюринга и, например, в 2015 году программа «Соня Гусева», созданная Иваном Голубевым из Санкт-Петербурга, смогла обмануть судей в 47% случаев [6].

С момента возникновения понятия искусственного интеллекта было предложено много его формальных и неформальных определений [3]. Если обобщить все эти определения, то их можно разбить на два принципиально разных философских подхода.

Согласно первому подходу искусственный интеллект – это наука о создании машин, способных выполнять задачи, которые потребовали бы интеллекта, если бы их выполняли люди. Именно такое определение искусственному интеллекту дал еще в 1968 году известный ученый Марвин Минский [7]. Здесь очень важно обратить внимание на то, что исходя из этого определения вовсе не обязательно, чтобы сама машина обладала ИИ, а главное, чтобы она могла выполнять те задачи, которые бы потребовали интеллекта, если бы их решал человек.

Однако эта философия привела к поразительному результату. Как отметил в своем обзоре Эрнандес Оралло [8], современные компьютерные системы, решающие некоторые частные задачи зачастую лучше человека, никаким

интеллектом, как правило, вовсе не обладают. Действительно, поскольку все навыки (т.е. алгоритмы и программы выполнения тех или иных задач), которыми обладают подобные системы, «закладываются» в них создателем-инженером и просто-напросто формализуют результат его умственной работы, то они не более интеллектуальны, чем любой компьютер, выполняющий программу, заложенную в него человеком-программистом.

Здесь можно привести пример игры в шахматы. Если человек играет в шахматы на гроссмейстерском уровне, то мы можем с уверенностью предположить, что этот человек обладает высоким интеллектом. Но того же нельзя сказать даже о программах, которые сегодня способны обыграть чемпиона мира по шахматам, поскольку они делают это не за счет какого-то своего собственного высокого интеллекта, а за счет запрограммированного в них интеллекта их создателей. А также за счет огромного быстродействия суперкомпьютеров, на которых эти программы реализованы, что позволяет им анализировать варианты развития ситуации на доске намного шагов дальше и выбрать среди них наилучший намного быстрее любого человека-шахматиста.

Следует подчеркнуть, что под данное определение ИИ подпадают и широко используемые в настоящее время глубокие нейронные сети, которые успешно (зачастую лучше человека) решают частные задачи классификации и распознавания образов. Однако, при этом навыки решения этих задач формируются в них путем внешнего обучения на основании предварительно размеченных данных, а также с помощью алгоритмов, придуманных и запрограммированных их создателями.

Согласно второму подходу искусственный интеллект заключается в способности системы приобретать и создавать новые навыки для решения задач, к которым она не была подготовлена заранее. Такое определение ИИ в частности было предложено Маккарти [9]. Иными словами, данное определение подразумевает умение системы справляться с решением широкой категории заранее неизвестных задач (т.е. задач, которые не могли быть предусмотрены ее создателем) без помощи человека (хотя на начальной стадии система может быть и обучена человеком).

Следует заметить, что даже самые современные компьютерные системы вряд ли могут быть отнесены к этой категории, хотя на заре эры ИИ такие попытки предпринимались. Здесь можно вспомнить систему Общий Решатель Задач (General Problem Solver – GPS), созданную в 1959 году Гербертом Саймоном, Клиффордом Шоу и Алленом Ньюэллом, которая, по идее создателей, предназначалась для решения широкого класса задач, сформулированных на языке хорновских дизьюнктов [10]. Однако, хотя GPS была способна самостоятельно решать простые задачи, такие как, например, головоломка о ханойских башнях, она не была способна справиться с решением большинства реальных задач, поскольку поиск цели решения приводил к

комбинаторному «взрыву».

### *3. «Слабый» и «сильный» искусственный интеллект*

Выше отмечено, что существует два различных философских подхода к определению ИИ:

1. Искусственный интеллект – это способность компьютерной системы выполнять некоторую частную «интеллектуальную» задачу (т.е. задачу, решение которой требует человеческого интеллекта) не хуже, чем бы ее выполнил человек;

2. Искусственный интеллект – это способность компьютерной системы выполнять различные «интеллектуальные» задачи без помощи человека, в том числе те, к которым она не была подготовлена заранее.

Как правило, априори принимается, что компьютерные системы, отвечающие первому определению, обладают «слабым» ИИ, а отвечающие второму определению - «сильным» ИИ.

Очевидно, что компьютерные системы, относящиеся и к первой, и ко второй категории, должны обладать некоторыми навыками для решения стоящих перед ними задач, т.е. алгоритмами или программами их решения. Отличие заключается лишь в том, что в системах со «слабым» ИИ навыки (алгоритмы) формируются ее создателем – человеком, а системы с «сильным» ИИ должны обладать способностью самостоятельно формировать новые навыки (алгоритмы) решения заранее неизвестных задач.

Исходя из этих соображений, в общем случае, компьютерная система со «слабым» ИИ может обладать навыками двух типов: базовыми навыкам, заложенными в систему ее инженерами-создателями, а также навыками, полученными в результате внешнего обучения (рис.1).

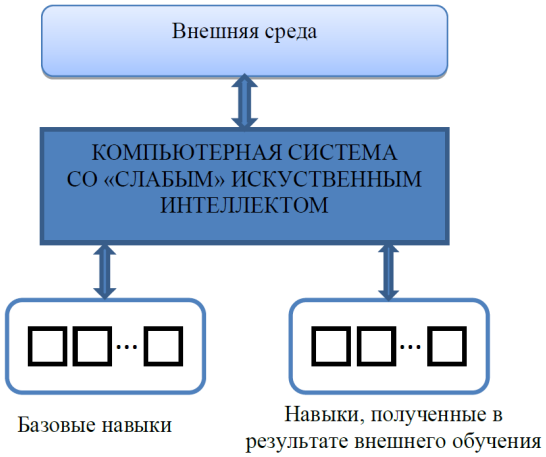



*Рис. 1. Структура системы со «слабым» ИИ*
*Fig. 1. Structure of a system with "weak" AI*
*圖 1.「弱」人工智慧系統的結構*

Базовые навыки – это аналог «врожденных» навыков человека, например, навыков дыхания, глотания, моргания и т.п., которые проявляются сразу после его рождения и не требуют какого-либо дополнительного обучения. Если речь идет о технической системе, например, мобильном роботе, то базовым навыками могут являться такие навыки как: движение вперед или назад, поворот вправо или влево, останов и т.д., которые закладываются инженером-программистом на этапе создания системы и не изменяются в процессе ее функционирования.

Навыки второго типа, которыми может обладать система со «слабым» ИИ, получаются в результате внешнего обучения человеком. При этом базовые навыки могут использоваться в процессе такого обучения как некоторые готовые подпрограммы, с помощью которых формируются программы новых навыков. Возвращаясь к примеру интеллектуального мобильного робота, обучаемым навыком (программой) может быть, например, навык распознавания препятствий на пути движения и их обхода, который формируется путем внешнего обучения нейронной сети робота. Базовые навыки робота (программы движения вперед-назад и поворота вправо-влево и т.д.) могут использоваться в качестве готовых подпрограмм, встраиваемых в программу такого обученного навыка.

Очевидно, что, хотя такие системы и принято называть системами со «слабым» ИИ, никаким собственным интеллектом они не обладают, а просто используют интеллект своих создателей и учителей, заложенный в них в виде базовых и обучаемых навыков. Следует отметить, что именно по такому принципу строится подавляющее большинство современных систем, которые принято называть «интеллектуальными», хотя по уровню своего «интеллекта» они ничем не отличаются от обычных компьютеров, реализующих программы, заложенные в них человеком-программистом.

Обобщенная структурная схема компьютерной системы с «сильным» ИИ, отвечающей второму определению, показана на Рис. 2. В отличие от системы со «слабым» ИИ данная система должна обладать дополнительно навыками еще двух типов – навыками, полученными в результате самообучения, а также навыками, полученными системой самостоятельно (без участия человека) для решения новых задач, для которых она не была заранее подготовлена. Навыки, получаемые в результате самообучения, могут формироваться системой с «сильным» ИИ на основе знаний и данных, получаемых из различных доступных ей источников, таких как Интернет, книги, фильмы и т.д., а также на основе опыта ее функционирования во внешней среде.

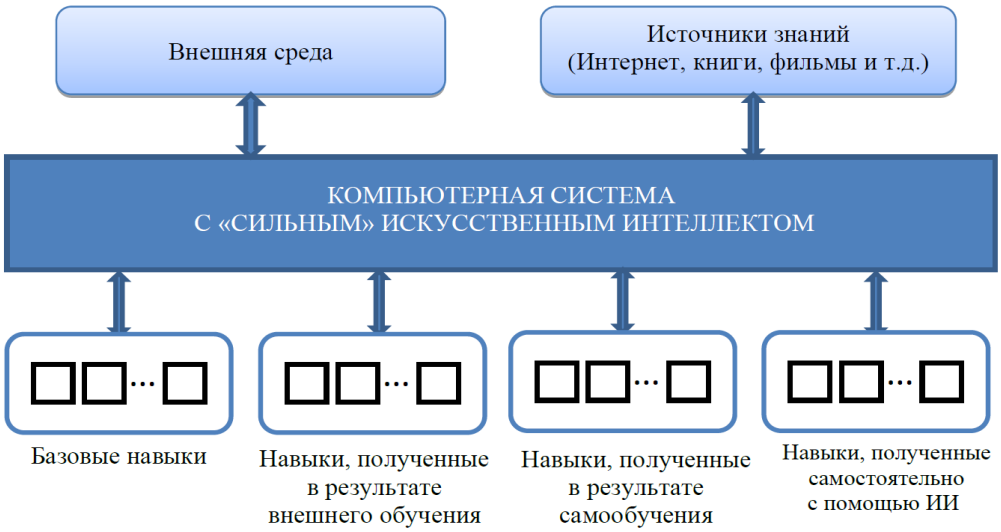



*Рис. 2. Структура системы с «сильным» ИИ*
*Fig. 2. Structure of a system with "strong" AI*
*圖 2.「強」人工智慧系統的結構*

Необходимость решения новых, заранее неизвестных задач как раз и требует от системы наличия искусственного интеллекта, способного самостоятельно формировать новые навыки для их решения. При этом навыки, ранее накопленные системой, могут использоваться в качестве готовых «кубиков» (подпрограмм) для формирования этих новых навыков. В примере интеллектуального мобильного робота можно предположить, что он обладает базовыми навыками, т.е. навыками движения и поворота, а также навыками распознавание препятствий, полученными в результате внешнего обучения. Теперь же роботу надо самому сформировать навык (алгоритм) перемещения из одной точки среды в другую, не сталкиваясь при этом с препятствиями. Если робот будет обладать способностью самостоятельно, без участия человека сформировать такой навык для выполнения данной задачи, используя уже имеющиеся у него базовые и обученные навыки в качестве основы, то можно будет утверждать, что он обладает «сильным» ИИ.

Здесь следует заметить, что многие современные роботы легко справляются с задачей перемещения из одной точки среды в другую, минуя при этом препятствия. Однако навык (алгоритм) такого перемещения получен ими не самостоятельно, а заложен инженером-создателем либо в качестве базового, либо путем внешнего обучения. Поэтому такие роботы не могут быть отнесены к системам с «сильным» ИИ. Строго говоря, систем, отвечающих признакам «сильного» ИИ, в настоящее время практически не существуют, либо они находятся в зачаточной стадии.

Таким образом, можно сделать вывод, что реальным интеллектом, способным решать широкий класс заранее неизвестных задач, будут обладать только компьютерные системы с «сильным» ИИ, в то время как системы со «слабым» ИИ используют для своей работы интеллект их создателей и учителей, заложенный в них в виде базовых и обученных навыков. Поэтому следует согласиться с Франсуа Шолле [11], который предложил следующее определение ИИ: искусственный интеллект – это способность системы самостоятельного формирования навыков (алгоритмов) выполнения задач, к которым она не была подготовлена заранее, на основе имеющихся у нее ранее сформированных навыков, априорных знаний и накопленного опыта.

### *4. Количественная мера искусственного интеллекта*

Выше были рассмотрены принципиальные отличия компьютерных систем с «слабым» и «сильным» ИИ. Но если мы хотим иметь возможность сравнивать между собой интеллект различных компьютерных систем, то нам необходимо иметь его количественный показатель. Последнее время проблеме измерения искусственного интеллекта посвящается все большее число исследований. Здесь можно упомянуть работы [8, 11, 12]. Однако предложенные в данных работах подходы имеют больше философский характер и трудно применимы на практике. Для практического использования необходим более простой количественный показатель, с помощью которого можно относительно несложно измерять интеллект различных компьютерных систем, в том числе отличающихся набором имеющихся у них навыков и знаний. Прежде чем предложить такой количественный показатель, приведем ряд рассуждений.

Очевидно, что уровень интеллекта системы должен зависеть от величины «интеллектуальной работы», которую система способна выполнять за некоторый промежуток времени. В физике существует понятие мощности, которая определяется количеством выполненной работы за единицу времени. По аналогии с физической мощностью целесообразно ввести понятие «интеллектуальной мощности» компьютерной системы, как количества «интеллектуальной работы», выполняемой системой за единицу времени.

При этом возникает вопрос – каким образом возможно оценить объем «интеллектуальной работы», выполненной компьютерной системой? Пусть имеется система с «сильным» ИИ, обладающая некоторым набором (множеством) навыков

$$\boldsymbol{N} = \{n_1, n_2, \ldots, n_m\} \ ,$$

включающим в свой состав базовые навыки, навыки, полученные в результате внешнего обучения, навыки, полученные в результате самообучения, а также навыки, приобретенные самостоятельно. Предположим, что возникла

необходимость выполнения новой, заранее неизвестной задачи и данная система каким-то образом сумела сформировать новый навык (программу) $n_{m+1}$ для ее решения, причем для этого были использованы некоторые ранее имеющиеся у системы навыки из множества $\boldsymbol{N}$, которые вошли в новый навык $n_{m+1}$ в качестве составных частей (подпрограмм) алгоритма его выполнения.

Как мы приняли выше, навык $n_{m+1}$ – это алгоритм или программа выполнения (решения) задачи и поэтому возможно определить его алгоритмическую сложность $S_{m+1}$ (также известную как сложность Колмогорова), которая обычно оценивается количеством вычислений, необходимых для его реализации [13-16]. Очевидно, что «интеллектуальная работа», выполненная системой при формировании нового навыка $n_{m+1}$ , должна быть тем выше, чем выше алгоритмическая сложность $S_{m+1}$ этого навыка $n_{m+1}$ . Но, с другой стороны, если при формировании навыка $n_{m+1}$ были использованы уже имеющиеся у системы навыки из множества $\boldsymbol{N}$, то объем «интеллектуальной работы», выполненной системой при формировании этого навыка, должен снижаться. Иными словами, величина «интеллектуальной работы» $A_{m+1}$, выполняемой системой при формировании нового навыка $n_{m+1}$, должна зависеть от приращения алгоритмической сложности данного нового навыка относительно суммарной алгоритмической сложности уже имеющихся у системы навыков, используемых при его формировании.

Кроме того, поскольку новый навык $n_{m+1}$ – это алгоритм (или программа) выполнения (решения) некоторой задачи, то эффективность ее решения в общем случае будет зависеть от данного алгоритма (навыка). Поэтому, если существует некоторый критерий эффективности решения данной задачи, то новому навыку $n_{m+1}$ необходимо поставить в соответствие коэффициент $V_{m+1}$, принимающий значений от 0 до 1 и оценивающий эффективность решения задачи с его помощью по заданному критерию. Причем $V_{m+1} = 1$, если получаемое решение полностью отвечает критерию эффективности, и $V_{m+1} = 0$, если полностью не отвечает. При этом, если навык $n_{m+1}$ обеспечивает единственно возможное решение соответствующей задачи, то приписанное ему значение коэффициента эффективности $V_{m+1}$ будет однозначно равно единице.

Так, задача перемещение мобильного робота из одной точки пространства в другую в среде с препятствиями может выполняться с помощью различных (навыков) алгоритмов. Но если критерием эффективности является, например, время движения робота по маршруту, то каждому их этих навыков следует поставить в соответствие коэффициент эффективности, оценивающий возможность достижения минимума времени движения робота к цели с его помощью.

Соответственно, коэффициент эффективности навыка $n_{m+1}$ должен также учитываться при оценке величины «интеллектуальной работы», выполненной системой при его формировании. Причем чем больше значение коэффициента

$V_{m+1}$, тем, очевидно, выше должна быть величина выполненной «интеллектуальной работы».

Учитывая приведенные соображения, величину «интеллектуальной работы» $A_{m+1}$, выполненной системой при формировании нового навыка $n_{m+1}$, можно оценить следующим образом:

$$A_{m+1}=\left(S_{m+1}-\sum_{j=1}^{l} S_j^{m+1}\right)\cdot V_{m+1}, \qquad (1)$$

где $S_{m+1}$ – алгоритмическая сложность сформированного навыка $n_{m+1}$; – $\sum_{j=1}^{l} S_j^{m+1}$ - суммарная алгоритмическая сложность ранее накопленных навыков из множества $\boldsymbol{N}$, использованных при формировании навыка $n_{m+1}$; $V_{m+1}$ – коэффициент эффективности навыка $n_{m+1}$.

Тогда «интеллектуальную мощность» $P_{m+1}$ компьютерной системы при формировании нового навыка $n_{m+1}$ можно оценить как отношение количества «интеллектуальной работы» $A_{m+1}$ (1) к промежутку времени $T_{m+1}$, в течение которого новый навык $n_{m+1}$ был сформирован:

$$P_{m+1}=\frac{A_{m+1}}{T_{m+1}}=\frac{\left(S_{m+1}-\sum_{j=1}^{l} S_j^{m+1}\right)\cdot V_{m+1}}{T_{m+1}} \quad . \qquad (2)$$

Последнее выражение оценивает «интеллектуальную мощность» системы при формировании одного единственного навыка, направленного на решение конкретной задачи. Если же нам необходимо оценить интеллектуальную мощность компьютерной системы в целом, а не на одной конкретной задаче, то для этого очевидно необходимо провести ее тестирование на некотором множестве (наборе) различных задач. Набор таких тестовых задач может быть сформирован на основании методик, используемых в психометрии [17, 18].

Ранее уже предпринимались попытки использовать психометрические тесты интеллекта, изначально разработанных для людей, в качестве способа оценки интеллекта в компьютерных системах. Эта идея была впервые предложена в 1964 году Грином [19] и развита в 1973 году Ньюэллом в основополагающей статье «Вы не можете сыграть с природой в 20 вопросов и победить» [20]. Основная логика этих предложений заключается в измерении чего-то более общего, чем умение системы выполнять одну конкретную задачу путем расширения набора целевых задач. Однако, критический недостаток этого подхода заключается в том, что набор задач может быть известен разработчикам и вполне ожидаемо, что они могут заранее «настроить» систему на их решение [21, 22]. Т.е. по сути, в этом случае тестовые задачи будут решаться разработчиками системы, а не самой системой.

Тем не менее, многозадачные тесты были и остаются наиболее распространенным средством измерения в области ИИ, потому что они воспроизводимы (набор тестов фиксирован), справедливы (набор тестов одинаков для всех), масштабируемы и достаточно гибки, чтобы быть применимым к широкому кругу возможных задач.

Пусть имеется некоторый многозадачный тест, сформированный на основе методик психометрии. Тогда «интеллектуальную мощность» P компьютерной системы в целом можно оценить как

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{K} \left( \left( S_i - \sum_{j=1}^{l} S_j^i \right) \cdot V_i \right)}{T} , \qquad (3)$$

где $S_i$ – алгоритмическая сложность навыка, сформированного для решения $i$-ой задачи теста; $V_i$ – коэффициент эффективности навыка, сформированного для решения $i$-ой задачи теста; $\sum_{j=1}^{l} S_j^i$ – суммарная алгоритмическая сложность ранее накопленных навыков из множества $\boldsymbol{N}$, использованных при решении $i$-ой задачи теста; $T$ – общее время выполнения теста; $K$ – число задач теста, решенных за период $T$.

Основное преимущество предложенного подхода к измерению «интеллектуальной мощности» компьютерных системы заключается в том, что он дает ее однозначную количественную оценку, которая в том числе учитывает имеющийся у системы «багаж» ранее накопленных навыков, а также ее способность формировать эффективные навыки при решении заранее неизвестных задач. Все это позволяет использовать данную оценку для сравнения искусственного интеллекта различных компьютерных систем, в том числе отличающихся количеством и набором ранее накопленных навыков и знаний, а также способностями к получению эффективных решений. Например, если две сравниваемые между собой системы решили одинаковые задачи из тестового набора за отведенное время, то согласно (3) большей «интеллектуальной мощностью» будет обладать та система, у которой исходная совокупность навыков была меньше, а эффективность новых навыков, полученных при решении задач тестового набора, выше.

### *5. Заключение*

Обобщая приведенные выше соображения можно сделать следующие основные выводы:

Искусственный интеллект – это способность системы самостоятельно формировать навыки (алгоритмы) выполнения задач, к которым она не была подготовлена заранее, на основе имеющихся у нее ранее накопленных навыков, знаний и опыта.

«Слабым» ИИ обладают системы, которые используют навыки, заложенные в них людьми, либо в процессе создания системы, либо в результате внешнего обучения. Поэтому в реальности системы данного типа никаким собственным интеллектом не обладают, а при решении задач используют заложенный в них интеллект своих создателей-инженеров. Большинство современных систем, которые считаются «интеллектуальными», в действительности относятся к данному классу.

«Сильным» ИИ будут обладать системы, способные самостоятельно, без участия своих создателей-инженеров формировать новые навыки для выполнения задач, к которым они не были заранее подготовлены. При этом мера интеллекта таких систем должна оцениваться их способностями к формированию таких новых навыков. В настоящее время системы ИИ подобного типа находятся только в стадии зарождения.

В качестве количественной меры для оценки уровня искусственного интеллекта компьютерной системы предлагается использовать ее «интеллектуальную мощность», которая измеряется величиной «интеллектуальной работы», выполняемой системой в единицу времени при формировании новых навыков (алгоритмов) решения заранее не известных ей задач. В свою очередь величина «интеллектуальной работы» при формировании новых навыков определяется произведением приращения алгоритмической сложности этих новых навыков относительно ранее накопленных навыков, использованных при их формировании, на коэффициент их эффективности.

### *1. Introduction*

The problem of creating artificial intelligence (AI) has recently increasingly agitated the minds of humanity. There is a lot of research and development going on in this area around the world. Every developed state considers it its duty to create a national strategy or program for the development of AI. This strategy was adopted in 2019 in our country [1].

There are various formulations of what artificial intelligence is, but most of them are not clear enough and often controversial [2, 3]. Thus, the national strategy for the development of AI in Russia states: “AI is a set of technological solutions that make it possible to imitate human cognitive functions (including self-learning and searching for solutions without a predetermined algorithm) and obtain results when performing specific tasks that are comparable, at a minimum, to the results of intellectual human activity" [1].

The validity of this definition is highly questionable. Firstly, an ordinary calculator, for example, falls under it, since it performs human cognitive functions (and arithmetic and trigonometric calculations, of course, belong to cognitive functions). Moreover, the results obtained by the calculator, in terms of speed and accuracy of calculations, are many times higher than the results of similar human

intellectual activity. Therefore, based on this definition, the calculator has artificial intelligence.

Secondly, the phrase “solutions that allow simulating human cognitive functions” causes great confusion. A parrot can also imitate human cognitive functions (namely human speech), but whether it has intelligence is a big and controversial question. In addition, modern chatbots imitate intelligent human communication so well that it is often very difficult to understand whether you are talking to a robot or a person. But they are imitating, not having a reasonable conversation. Therefore, to claim that a chatbot has artificial intelligence is, of course, nonsense.

Despite the fact that we still have little idea of what artificial intelligence actually is, recently people have increasingly begun to talk about “strong” and “weak” AI [2, 4]. At the same time, it is implicitly understood that “strong” AI should be commensurate with human intelligence, and “weak” AI performs (or imitates) individual human cognitive functions, such as pattern recognition, speech, hearing, etc. However, there is no clear way to divide AI into “weak” and “strong” uptoday.

In order to understand what “weak” and “strong” artificial intelligence is and to draw the line between them, it is necessary, firstly, to give a more or less clear definition of AI itself, and secondly, to propose a quantitative measure of artificial intelligence for comparison of various computer systems by their “intellectual power”. The present work is devoted to answering these questions.

### *2. Definitions of the concept of “artificial intelligence”*

Research in the field of artificial intelligence originated in the 50s of the last century, and since then the question remains unresolved - what should be understood by AI. Of course, the ideal of AI is a computer system with intelligence comparable to that of a human. And in the initial period of the era of artificial intelligence, there was confidence that the creation of such AI was not far off. However, more than 70 years have passed, and this goal is still as far away as at the beginning of the journey. And although we have learned to create systems that quite well imitate (precisely imitate!) various human functions, they still have severe limitations in their scope, are demanding on initial data, and are unable to understand situations that deviate slightly from those for which they trained, unable to repurpose themselves to solve new problems without significant human participation, etc.

From the very beginning, scientists have wondered how to distinguish a system with AI from a system that does not have AI. The first such method was proposed by Alain Turing in the article “Computing Machines and Intelligence,” published back in 1950 [5]. He proposed a procedure that, in his opinion, would determine when a computing machine would become comparable in intelligence to a person. The essence of this procedure is as follows. A person interacts with one computer and one person. Based on the answers to the questions, he must determine who he is talking

to: a person or a computer. The purpose of a computer program is to mislead a person into making the wrong choice.

However, the use of this test showed its practical uselessness, since modern chatbots easily “mislead” people, imitating a “reasonable” dialogue with them and without possessing any AI. Chatbot competitions for the Turing test are held annually and, for example, in 2015, the “Sonya Guseva” program, created by Ivan Golubev from St. Petersburg, was able to deceive judges in 47% of cases [6].

Since the emergence of the concept of artificial intelligence, many formal and informal definitions have been proposed [3]. If we generalize all these definitions, they can be divided into two fundamentally different philosophical approaches.

According to the first approach, artificial intelligence is the science of creating machines capable of performing tasks that would require intelligence if performed by humans. This is exactly the definition of artificial intelligence given back in 1968 by the famous scientist Marvin Minsky [7]. It is very important here to pay attention to the fact that based on this definition, it is not at all necessary that the machine itself has AI, but most importantly, that it can perform those tasks that would require intelligence if they were solved by a person.

However, this philosophy led to amazing results. As Hernandez Orallo noted in his review [8], modern computer systems, which often solve some particular problems better than humans, usually do not possess any intelligence at all. Indeed, since all the skills (i.e., algorithms and programs for performing certain tasks) that such systems possess are “embedded” in them by the creator-engineer and simply formalize the result of his mental work, then they are no more intelligent than any computer that runs a program put into it by a human programmer.

Here is an example of playing chess. If a person plays chess at a grandmaster level, then we can confidently assume that this person has high intelligence. But the same cannot be said even about programs that today are able to beat the world chess champion, since they do this not due to some kind of high intelligence of their own, but due to the intelligence of their creators programmed into them. And also due to the enormous speed of supercomputers on which these programs are implemented, which allows them to analyze the options for developing the situation on the board much further and choose the best one among them much faster than any human chess player.

It should be emphasized that this definition of AI also includes the currently widely used deep neural networks, which successfully (often better than humans) solve particular problems of classification and pattern recognition. However, the skills to solve these problems are formed in them through external training based on pre-labeled data, as well as with the help of algorithms invented and programmed by their creators.

According to the second approach, artificial intelligence is the ability of a system to acquire and create new skills to solve problems for which it was not

prepared in advance. This definition of AI in particular was proposed by McCarthy [9]. In other words, this definition implies the ability of a system to cope with solving a wide category of previously unknown tasks (that is, tasks that could not have been foreseen by its creator) without human help (although at the initial stage the system can be trained by a person).

It should be noted that even the most modern computer systems can hardly be classified in this category, although such attempts were made at the dawn of the AI era. Here we can recall the General Problem Solver (GPS) system, created in 1959 by Herbert Simon, Clifford Shaw and Allen Newell, which, according to the creators, was intended to solve a wide class of problems formulated in the language of Horn clauses [10]. However, while GPS was capable of solving simple problems on its own, such as the Towers of Hanoi puzzle, it was not capable of solving most real-world problems because searching for the target of the solution resulted in a combinatorial explosion.

### *3. "Weak" and "strong" artificial intelligence*

It is noted above that there are two different philosophical approaches to the definition of AI:

1. Artificial intelligence is the ability of a computer system to perform some particular "intelligent" task (i.e., a task the solution of which requires human intelligence) no worse than it would be performed by a human;

2. Artificial intelligence is the ability of a computer system to perform various "intelligent" tasks without human assistance, including those for which it was not prepared in advance.

As a rule, it is accepted a priori that computer systems that meet the first definition have "weak" AI, and those that meet the second definition have "strong" AI.

It is obvious that computer systems belonging to both the first and second categories must have some skills to solve the problems they face, i.e. algorithms or programs for solving them. The only difference is that in systems with "weak" AI, skills (algorithms) are formed by its creator – a person, and systems with "strong" AI must be able to independently form new skills (algorithms) for solving previously unknown problems.

Based on these considerations, in general, a computer system with "weak" AI can have two types of skills: basic skills built into the system by its creator engineers, as well as skills obtained as a result of external training (Fig. 1). Basic skills are an analogue of a person's "innate" skills, for example, breathing skills, swallowing, blinking, etc., which appear immediately after birth and do not require any additional training. If we are talking about a technical system, for example, a mobile robot, then the basic skills can be skills such as: moving forward or backward, turning right or left, stopping, etc., which are laid down by the software engineer at the stage of

creating the system and do not change during its operation.

The second type of skills that a system with “weak” AI can possess are obtained as a result of external human training. At the same time, basic skills can be used in the process of such training as some ready-made subprograms, with the help of which programs of new skills are formed. Returning to the example of an intelligent mobile robot, a trained skill (program) can be, for example, the skill of recognizing obstacles in the path of movement and avoiding them, which is formed by external training of the robot’s neural network. Basic robot skills (programs for moving forward-backward and turning left-right, etc.) can be used as ready-made subroutines built into the program of such a trained skill.

It is obvious that, although such systems are usually called systems with “weak” AI, they do not possess any intelligence of their own, but simply use the intelligence of their creators and teachers, embedded in them in the form of basic and teachable skills. It should be noted that it is on this principle that the vast majority of modern systems are built, which are usually called “intelligent”, although in terms of their level of “intelligence” they are no different from ordinary computers that implement programs embedded in them by a human programmer.

A generalized block diagram of a computer system with “strong” AI that meets the second definition is shown in Fig. 2. Unlike a system with “weak” AI, this system must additionally have two more types of skills - skills obtained as a result of self-learning, as well as skills acquired by the system independently (without human participation) to solve new problems for which it was not designed prepared in advance. The skills obtained as a result of self-learning can be formed by a system with “strong” AI based on knowledge and data obtained from various sources available to it, such as the Internet, books, films, etc., as well as on the basis of the experience of its functioning in the external environment.

The need to solve new, previously unknown problems requires the system to have artificial intelligence capable of independently developing new skills to solve them. In this case, the skills previously accumulated by the system can be used as ready-made “cubes” (subroutines) for the formation of these new skills. In the example of an intelligent mobile robot, we can assume that it has basic skills, i.e. movement and turning skills, as well as obstacle recognition skills obtained through external training. Now the robot itself needs to develop the skill (algorithm) of moving from one point in the environment to another, without encountering obstacles. If a robot has the ability to independently, without human intervention, form such a skill to perform a given task, using the basic and trained skills it already has as a basis, then it can be argued that it has “strong” AI.

It should be noted here that many modern robots easily cope with the task of moving from one point in the environment to another, while avoiding obstacles. However, the skill (algorithm) for such movement was not acquired by them independently, but was laid down by the creator engineer either as a base one or

through external training. Therefore, such robots cannot be classified as systems with "strong" AI. Strictly speaking, systems that meet the characteristics of "strong" AI practically do not exist at present, or they are in their infancy.

Thus, we can conclude that only computer systems with "strong" AI will have real intelligence, capable of solving a wide class of previously unknown problems, while systems with "weak" AI use the intelligence of their creators and teachers for their work, embedded in them in the form of basic and trained skills. Therefore, we should agree with Francois Chollet [11], who proposed the following definition of AI: artificial intelligence is the ability of a system to independently develop skills (algorithms) to perform tasks for which it was not prepared in advance, based on its previously formed skills and a priori knowledge and accumulated experience.

### *4. Quantitative measure of artificial intelligence*

The fundamental differences between computer systems with "weak" and "strong" AI were discussed above. But if we want to be able to compare the intelligence of different computer systems, then we need to have a quantitative indicator of it. Recently, an increasing number of studies have been devoted to the problem of measuring artificial intelligence. Here we can mention the works [8, 11, 12]. However, the approaches proposed in these works are more philosophical in nature and are difficult to apply in practice. For practical use, a simpler quantitative indicator is needed that can be used to relatively easily measure the intelligence of various computer systems, including those that differ in the set of skills and knowledge they have. Before proposing such a quantitative indicator, we present a series of considerations.

Obviously, the level of intelligence of the system should depend on the amount of "intellectual work" that the system is capable of performing over a certain period of time. In physics, there is the concept of power, which is determined by the amount of work performed per unit of time. By analogy with physical power, it is advisable to introduce the concept of "intellectual power" of a computer system, as the amount of "intellectual work" performed by the system per unit of time.

This raises the question: how is it possible to estimate the amount of "intellectual work" performed by a computer system? Let there be a system with "strong" AI, possessing a certain set (set) of skills

$$\boldsymbol{N} = \{n_1, n_2, \ldots, n_m\} \ ,$$

including basic skills, skills acquired through external training, skills acquired through self-study, and skills acquired independently. Suppose that there was a need to perform a new, previously unknown task, and this system somehow managed to generate a new skill (program) $n_{m+1}$ to solve it, and for this purpose some previously existing system skills from the set N were used, which were included in new skill $n_{m+1}$ as components (subroutines) of the algorithm for its implementation.

As we assumed above, skill $n_{m+1}$ is an algorithm or program for executing (solving) a problem and therefore it is possible to determine its algorithmic complexity $S_{m+1}$ (also known as Kolmogorov complexity), which is usually estimated by the number of calculations required to implement it [13- 16]. Obviously, the "intellectual work" performed by the system when forming a new skill $n_{m+1}$ should be higher, the higher the algorithmic complexity $S_{m+1}$ skill $n_{m+1}$. But, on the other hand, if, when forming skill $n_{m+1}$ , the system's existing skills from set N were used, then the amount of "intellectual work" performed by the system when forming this skill should decrease. In other words, the amount of "intellectual work" $A_{m+1}$ performed by the system when forming a new skill $n_{m+1}$ should depend on the increment in the algorithmic complexity of this new skill relative to the total algorithmic complexity of the skills the system already has and used in its formation.

In addition, since the new skill $n_{m+1}$ is an algorithm (or program) for performing (solving) a certain problem, the effectiveness of solving it in the general case will depend on this algorithm (skill). Therefore, if there is some criterion for the effectiveness of solving a given problem, then the new skill $n_{m+1}$ must be associated with the coefficient $V_{m+1}$, which takes values from 0 to 1 and evaluates the effectiveness of solving the problem with its help according to a given criterion. Moreover, $V_{m+1}$ = 1 if the resulting solution fully meets the efficiency criterion, and $V_{m+1}$ = 0 if it does not completely meet. Moreover, if skill $n_{m+1}$ provides the only possible solution to the corresponding problem, then the value of the efficiency coefficient $V_{m+1}$ assigned to it will be uniquely equal to one.

Thus, the task of moving a mobile robot from one point in space to another in an environment with obstacles can be performed using various (skills) algorithms. But if the efficiency criterion is, for example, the time the robot moves along the route, then each of these skills should be associated with an efficiency coefficient that evaluates the possibility of achieving a minimum time for the robot to move to the goal with its help.

Accordingly, the skill efficiency coefficient nm+1 should also be taken into account when assessing the amount of "intellectual work" performed by the system during its formation. Moreover, the greater the value of the coefficient $V_{m+1}$, the higher, obviously, should be the amount of "intellectual work" performed.

Taking into account the above considerations, the amount of "intellectual work" $A_{m+1}$ performed by the system when forming a new skill $n_{m+1}$ can be estimated as follows:

$$A_{m+1}=\left(S_{m+1}-\sum_{j=1}^{l} S_j^{m+1}\right)\cdot V_{m+1}, \qquad (1)$$

$S_{m+1}$ – algorithmic complexity of the formed skill $n_{m+1}$; $\sum_{j=1}^{l} S_j^{m+1}$ – is the total algorithmic complexity of previously accumulated skills from set N, used in the

formation of skill $n_{m+1}$; $V_{m+1}$– efficiency coefficient of skill $n_{m+1}$.

Then the "intellectual power" $P_{m+1}$ of the computer system when forming a new skill $n_{m+1}$ can be estimated as the ratio of the amount of "intellectual work" $A_{m+1}$ (1) to the time period $T_{m+1}$ during which the new skill $n_{m+1}$ was formed:

$$P_{m+1}=\frac{A_{m+1}}{T_{m+1}}=\frac{(S_{m+1}-\sum_{j=1}^{l} S_j^{m+1})\cdot V_{m+1}}{T_{m+1}} \quad . \qquad (2)$$

The last expression evaluates the "intellectual power" of the system in the formation of one single skill aimed at solving a specific problem. If we need to evaluate the intellectual power of a computer system as a whole, and not on one specific task, then for this it is obviously necessary to test it on a certain set (set) of different tasks. A set of such test tasks can be formed on the basis of methods used in psychometry [17, 18].

There have been previous attempts to use psychometric intelligence tests, originally developed for humans, as a way to assess intelligence in computer systems. This idea was first proposed in 1964 by Green [19] and developed in 1973 by Newell in the seminal paper "You Can't Play 20 Questions with Nature and Win" [20]. The basic logic of these proposals is to measure something more general than the ability of a system to perform one specific task by expanding the set of target tasks. However, a critical drawback of this approach is that the set of problems may be known to the developers and it is quite expected that they can "tune" the system to solve them in advance [21, 22]. Those. in fact, in this case, test problems will be solved by the system developers, and not by the system itself.

However, multi-task tests have been and remain the most common measurement tool in the field of AI because they are reproducible (the test set is fixed), fair (the test set is the same for everyone), scalable, and flexible enough to be applicable to a wide range of possible tasks.

Let there be some multi-task test, formed on the basis of psychometric methods. Then the "intellectual power" P of the computer system as a whole can be estimated as

$$P=\frac{\sum_{i=1}^{K}((S_i-\sum_{j=1}^{l} S_j^i)\cdot V_i)}{T} \quad , \qquad (3)$$

$S_i$ – algorithmic complexity of the skill formed to solve the *i*-th test problem; $V_i$ is the efficiency coefficient of the skill formed to solve the *i-t*h task of the test; $\sum_{j=1}^{l} S_j^i$ – total algorithmic complexity of previously accumulated skills from set *N*, used in solving the i-th test problem; *T* – total test execution time; *K* – number of test problems solved during period *T*.

The main advantage of the proposed approach to measuring the "intellectual power" of a computer system is that it gives its unambiguous quantitative assessment, which also takes into account the system's "baggage" of previously accumulated skills, as well as its ability to develop effective skills in solving previously unknown problems. tasks. All this allows us to use this assessment to compare the artificial intelligence of various computer systems, including those that differ in the number and range of previously accumulated skills and knowledge, as well as the ability to obtain effective solutions. For example, if two systems being compared solved identical problems from the test set in the allotted time, then according to (3) the system whose initial set of skills was smaller will have greater "intellectual power", and the effectiveness of the new skills acquired in solving problems test set, above.

### *5. Conclusion*

Summarizing the above considerations, the following main conclusions can be drawn:

Artificial intelligence is the ability of a system to independently develop skills (algorithms) for performing tasks for which it was not prepared in advance, based on its previously accumulated skills, knowledge and experience.

"Weak" AI refers to systems that use skills instilled in them by humans, either during the process of creating the system or as a result of external training. Therefore, in reality, systems of this type do not possess any intelligence of their own, and when solving problems they use the intellect of their creators-engineers embedded in them. Most modern systems that are considered "intelligent" actually belong to this class.

"Strong" AI will be possessed by systems that are capable of independently, without the participation of their creator-engineers, developing new skills to perform tasks for which they were not previously prepared. At the same time, the measure of intelligence of such systems should be assessed by their ability to form such new skills. Currently, AI systems of this type are only in their infancy.

As a quantitative measure for assessing the level of artificial intelligence of a computer system, it is proposed to use its "intellectual power", which is measured by the amount of "intellectual work" performed by the system per unit of time when forming new skills (algorithms) for solving problems unknown to it in advance. In turn, the amount of "intellectual work" in the formation of new skills is determined by the product of the increment in the algorithmic complexity of these new skills relative to the previously accumulated skills used in their formation by the coefficient of their effectiveness.

### *1. 簡介*

創造人工智慧（AI）的問題最近越來越引起人類的關注。 世界各地在這一領域正在進行大量的研究和開發。 每個已開發國家都認為有責任制定人工

智慧發展的國家策略或計畫。 我國於 2019 年採用了這項策略[1]。

關於人工智慧的意義有多種表述，但大多數表述不夠明確，而且常常存在爭議 [2, 3]。 因此，俄羅斯人工智慧發展國家策略指出：「人工智慧是一套技術解決方案，能夠模仿人類認知功能（包括自我學習和在沒有預定演算法的情況下搜尋解決方案）並在執行任務時獲得結果。至少與人類智力活動的結果具有可比性的具體任務”[1]。

這個定義的有效性非常值得懷疑。 首先，例如普通計算器就屬於它，因為它執行人類的認知功能（算術和三角運算當然屬於認知功能）。 而且，計算器得到的結果，無論是計算速度或精確度，都比人類同類智力活動的結果高出許多倍。 因此，根據這個定義，計算器具有人工智慧。

其次，「允許模擬人類認知功能的解決方案」一詞引起了極大的混亂。鸚鵡也可以模仿人類的認知功能（即人類言語），但它是否具有智力是一個大而有爭議的問題。 此外，現代聊天機器人很好地模仿了人類的智慧交流，以至於通常很難理解您是在與機器人還是人交談。 但他們只是在模仿，而不是進行合理的對話。 因此，聲稱聊天機器人有人工智慧當然是無稽之談。

儘管我們對人工智慧到底是什麼還知之甚少，但最近人們越來越多地開始談論「強」和「弱」人工智慧 [2, 4]。 同時，人們也隱含地理解「強」人工智慧應該與人類智慧相稱，而「弱」人工智慧則執行（或模仿）人類個體認知功能，例如模式識別、語音、聽覺等。 然而，目前還沒有提出明確的方法將人工智慧分為「弱」和「強」。

為了理解什麼是「弱」人工智慧和「強」人工智慧並劃清它們之間的界限，首先有必要對人工智慧本身給出一個或多或少明確的定義，其次提出一個量化衡量人工智慧的方法。人工智慧透過「智力」來比較各種電腦系統。 目前的工作致力於回答這些問題。

## *2.「人工智慧」概念的定義*

人工智慧領域的研究起源於上世紀 50 年代，此後的問題仍未解決——人工智慧應該理解什麼。 當然，人工智慧的理想是具有與人類相當的智慧的電腦系統。 而在人工智慧時代的初期，人們就相信這樣的人工智慧的誕生已經不遠了。 然而，70 多年過去了，這個目標仍然像旅程開始時一樣遙遠。 儘管我們已經學會創建能夠很好地模仿（精確地模仿！）各種人類功能的系統，但它們的範圍仍然存在嚴重的局限性，對初始數據的要求很高，並且無法理解與它們所針對的情況稍有偏差的情況。受過訓練，無法在沒有大量人類參與的情況下重新調整自己的目標來解決新問題，等等。

從一開始，科學家就想知道如何區分具有人工智慧的系統和沒有人工智慧的系統。 第一個這樣的方法是由阿蘭·圖靈 (Alain Turing) 在 1950 年發表的《電腦與智慧》一文中提出的[5]。 他提出了一個程序，他認為該程序將確定

電腦何時在智力上可以與人相媲美。 過程的實質如下。 一個人與一台計算機和一個人互動。 根據問題的答案，他必須確定他正在與誰交談：一個人還是一台電腦。 電腦程式的目的是誤導人們做出錯誤的選擇。

然而，這個測試的使用表明了它的實際用處，因為現代聊天機器人很容易「誤導」人們，模仿與他們的「合理」對話，並且不具備任何人工智慧。 圖靈測試的聊天機器人競賽每年舉行一次，例如，2015 年，來自聖彼得堡的 Ivan Golubev 創建的「Sonya Guseva」計畫能夠在 47% 的案件中欺騙法官 [6]。

自從人工智慧概念出現以來，人們提出了許多正式和非正式的定義[3]。 如果我們概括所有這些定義，它們可以分為兩種根本不同的哲學方法。

根據第一種方法，人工智慧是一門創造機器的科學，該機器能夠執行如果由人類執行則需要智慧的任務。 這正是著名科學家馬文·明斯基 (Marvin Minsky) 於 1968 年所給出的人工智慧定義 [7]。 這裡要注意的是，根據這個定義，機器本身完全沒有必要具有人工智慧，但最重要的是，它可以執行那些需要智慧的任務，如果這些任務是透過人工智慧來解決的話。

然而，這種哲學帶來了驚人的結果。 正如 Hernandez Orallo 在他的評論中指出的那樣 [8]，現代電腦系統通常比人類更好地解決一些特定問題，但通常根本不具備任何智慧。 事實上，由於此類系統擁有的所有技能（即用於執行某些任務的演算法和程序）都是由創造者工程師「嵌入」其中的，並且只是形式化了他的腦力勞動的結果，因此它們並不比任何系統更聰明。運行由人類程式設計師輸入的程式的電腦。

這是一個下棋的例子。 如果一個人的西洋棋水平達到了特級大師的水平，那麼我們就可以自信地認為這個人具有很高的智力。 但即使對於今天能夠擊敗世界象棋冠軍的程序也不能說同樣的話，因為它們這樣做不是因為它們自己具有某種高智能，而是因為它們的創建者編程到它們中的智能。 而且由於執行這些程式的超級電腦速度極快，這使得它們能夠比任何人類國際象棋棋手更快地進一步分析棋盤上發展情況的選項，並在其中選擇最佳選項。

應該強調的是，人工智慧的這個定義還包括目前廣泛使用的深度神經網絡，它成功地（通常比人類更好）解決了分類和模式識別的特定問題。 然而，解決這些問題的技能是透過基於預先標記的資料的外部訓練以及在其創建者發明和編程的演算法的幫助下形成的。

根據第二種方法，人工智慧是系統獲取和創造新技能來解決未事先準備好的問題的能力。 人工智慧的這個定義特別是由麥卡錫提出的[9]。 換句話說，這個定義意味著系統有能力在沒有人類幫助的情況下解決一大類以前未知的任務（即，其創建者無法預見的任務）（儘管在初始階段，系統可以受人培訓）。

應該指出的是，即使是最現代的電腦系統也很難歸入這個類別，儘管這種

嘗試是在人工智慧時代初期做出的。 在這裡，我們可以回顧一下通用問題求解器(GPS) 系統，該系統由 Herbert Simon、Clifford Shaw 和 Allen Newell 於 1959 年創建，根據創建者的說法，該系統旨在解決以 Horn 子句語言表述的各種問題。 10]。 然而，雖然 GPS 能夠自行解決簡單的問題，例如河內塔謎題，但它無法解決大多數現實世界的問題，因為搜尋解決方案的目標會導致組合爆炸。

### *3.「弱」與「強」人工智慧*

上面指出，人工智慧的定義有兩種不同的哲學方法：

1. 人工智慧是電腦系統執行某些特定「智慧」任務（即需要人類智慧來解決的任務）的能力，且不比人類執行的任務差；

2. 人工智慧是電腦系統在沒有人類協助的情況下執行各種「智能」任務的能力，包括那些事先沒有準備好的任務。

通常，人們先驗地認為，滿足第一個定義的電腦系統具有「弱」人工智慧，而滿足第二個定義的電腦系統具有「強」人工智慧。

顯然，屬於第一類和第二類的電腦系統必須具備一些技能來解決它們所面臨的問題，即 解決這些問題的演算法或程序。 唯一的區別是，在「弱」人工智慧的系統中，技能（演算法）是由其創造者——人形成的，而「強」人工智慧的系統必須能夠獨立形成新的技能（演算法）來解決以前未知的問題。

基於這些考慮，一般來說，一個「弱」人工智慧的電腦系統可以擁有兩種技能：由其創建者工程師內建到系統中的基本技能，以及透過外部訓練獲得的技能（圖 1） 。 基本技能類似於一個人的「先天」技能，例如呼吸技能、吞嚥、眨眼等，這些技能在出生後立即出現，不需要任何額外的訓練。 如果我們談論的是一個技術系統，例如移動機器人，那麼基本技能可以是諸如：前進或後退、右轉或左轉、停止等技能，這些技能是由軟體工程師制定的系統創建階段，在系統運行過程中不會發生變化。

「弱」人工智慧系統可以擁有的第二種技能是透過外部人類訓練獲得的。同時，在訓練過程中可以將基本技能作為一些現成的子程序來使用，並藉助這些子程序形成新技能的程序。 回到智慧移動機器人的例子，經過訓練的技能（程式）可以是例如識別運動路徑中的障礙物並避開它們的技能，這是透過機器人神經網路的外部訓練形成的。 基本的機器人技能（前後移動、左轉、右轉等程式）可以作為現成的子程式內建在此類訓練技能的程式中。

顯然，雖然此類系統通常被稱為“弱”人工智慧系統，但它們本身不具備任何智能，而只是使用其創造者和教師的智能，以基本的、可傳授的技能的形式嵌入其中。 。 應該指出的是，絕大多數現代系統都是根據這個原理構建的，這些系統通常被稱為“智能”，儘管就其“智能”水平而言，它們與執行嵌入程序的普通計算機沒有什麼不同。由人類程式設計師完成。

圖 1 顯示了滿足第二個定義的具有「強」人工智慧的電腦系統的通用框圖。 2. 與「弱」人工智慧的系統不同，該系統還必須額外擁有兩種技能——透過自學習獲得的技能，以及系統獨立（無需人類參與）解決新問題而獲得的技能它不是預先設計準備的。 透過自學獲得的技能可以由具有「強」人工智慧的系統形成，該系統基於從各種可用來源（例如互聯網、書籍、電影等）獲得的知識和數據，以及其在外部環境中運作的經驗基礎。

解決新的、以前未知的問題的需要要求系統具有能夠獨立開發新技能來解決這些問題的人工智慧。 在這種情況下，系統先前累積的技能可以作為現成的「立方體」（子程式）來形成這些新技能。 以智慧移動機器人為例，我們可以假設它具有基本技能，即 運動和轉彎技能，以及透過外部訓練獲得的障礙物辨識技能。 現在，機器人本身需要發展從環境中的一個點移動到另一個點而不會遇到障礙的技能（演算法）。 如果一個機器人有能力在沒有人工幹預的情況下，以它已經擁有的基本和訓練有素的技能為基礎，獨立地形成這樣的技能來執行給定的任務，那麼可以說它擁有「強」人工智能。

這裡應該指出的是，許多現代機器人可以輕鬆應對從環境中的一個點移動到另一點的任務，同時避開障礙物。 然而，這種動作的技能（演算法）並不是他們自己獨立獲得的，而是由創作者工程師作為基礎或透過外部訓練奠定的。 因此，此類機器人不能被歸類為具有「強」人工智慧的系統。 嚴格來說，符合「強」人工智慧特徵的系統目前實際上還不存在，或者還處於起步階段。

因此，我們可以得出結論，只有具有「強」人工智慧的電腦系統才會擁有真正的智能，能夠解決一系列以前未知的問題，而具有「弱」人工智慧的系統則利用其創造者和教師的智能來完成工作，嵌入以基本和訓練有素的技能的形式存在於其中。 因此，我們應該同意 Francois Chollet [11]的觀點，他提出了以下人工智慧的定義：人工智慧是一個系統根據其自身能力，自主開發技能（演算法）來執行未事先準備好的任務的能力。先前形成的技能和先驗知識以及累積的經驗。

### *4. 人工智慧的定量測量*

上面討論了「弱」人工智慧和「強」人工智慧電腦系統之間的根本區別。但如果我們希望能夠比較不同電腦系統的智能，那麼我們需要有一個量化指標。 近年來，越來越多的研究致力於測量人工智慧的問題。 這裡我們可以提到作品[8,11,12]。 然而，這些著作中所提出的方法本質上更具哲學性，很難在實踐中應用。 為了實際使用，需要一個更簡單的定量指標，可以用來相對容易地衡量各種電腦系統的智能，包括那些具有不同技能和知識的系統。 在提出這樣一個量化指標之前，我們提出了一系列考慮因素。

顯然，系統的智慧程度應該取決於系統在一定時間內能夠執行的「智力工作」量。 物理學中有一個功率的概念，功率是由單位時間內所做的功的多少

決定的。 與體力類比，建議引入電腦系統「智力」的概念，即係統在單位時間內完成的「智力工作」量。

這就提出了一個問題：如何估計電腦系統執行的「智力工作」量？ 讓系統擁有「強」AI，擁有一定的技能

$$\boldsymbol{N} = \{n_1, n_2, \ldots, n_m\},$$

包括基本技能、外部訓練所獲得的技能、自學所獲得的技能、獨立獲得的技能。 假設需要執行一項新的、以前未知的任務，並且該系統以某種方式設法生成新技能（程序） $n_{m+1}$ 來解決它，並且為此目的，使用了集合 N 中的一些先前存在的系統技能，它們被包含在新技能 $n_{m+1}$ 中作為其實現的演算法的組件（子例程）。

正如我們上面假設的，技能 $n_{m+1}$ 是執行（解決）問題的演算法或程序，因此可以確定其演算法複雜度 $S_{m+1}$（也稱為柯爾莫哥洛夫複雜度），通常透過實作它所需的計算[13-16]。 顯然，該技能 $n_{m+1}$ 的演算法複雜度 $S_{m+1}$ 越高，系統在形成新技能 $n_{m+1}$ 時所執行的「智力勞動」就應該越高。 但是，另一方面，如果在形成技能 $n_{m+1}$ 時，使用了系統 N 組中的現有技能，那麼系統在形成該技能時執行的「智力勞動」量應該會減少。 換句話說，系統在形成一項新技能 $n_{m+1}$ 時所執行的「智力勞動」 $A_{m+1}$ 量應該取決於該新技能的演算法複雜度相對於系統技能總演算法複雜度的增量已經擁有並在其形成過程中使用。

另外，由於新技能 $n_{m+1}$ 是用於執行（解決）某個問題的演算法（或程式）因此在一般情況下解決該問題的有效性將取決於該演算法（技能）。 因此，如果解決給定問題的有效性有某種標準，那麼新技能 $n_{m+1}$ 必須與係數 $V_{m+1}$ 相關聯，該係數取值從 0 到 1，評估解決問題的有效性根據給定的標準在其幫助下。 此外，如果所得解完全滿足效率標準，則 $V_{m+1} = 1$，如果不完全滿足，則 $V_{m+1} = 0$。 而且，如果技能 $n_{m+1}$ 提供了相應問題的唯一可能的解決方案，則分配給它的效率係數 $V_{m+1}$ 的值將唯一等於 1。

因此，可以使用各種（技能）演算法來執行將移動機器人從空間中的一個點移動到有障礙物的環境中的另一點的任務。 但是，如果效率標準是機器人沿著路線移動的時間，那麼這些技能中的每一個都應該與一個效率係數相關聯該效率係數評估機器人以其自身能力移動到目標的最短時間的可能性。幫助。

相應地，在評估系統形成過程中所完成的「智力勞動」量時，也應考慮技能效率係數 $n_{m+1}$。 而且，係數 $V_{m+1}$ 的數值越大，顯然所完成的「腦力勞動」量應該越高。

考慮到上述因素，系統在形成新技能 $n_{m+1}$ 時所執行的「智力勞動」 $A_{m+1}$ 量可估算如下：

$$A_{m+1} = \left(S_{m+1} - \sum_{j=1}^{l} S_j^{m+1}\right) \cdot V_{m+1}, \qquad (1)$$

$S_{m+1}$－形成的技能的演算法複雜度 $n_{m+1}$； $\sum_{j=1}^{l} S_j^{m+1}$ － 是集合 N 中先前累積的技能的總演算法複雜度，用於形成技能 $n_{m+1}$； $V_{m+1}$ 技能效率係數 $n_{m+1}$。

那麼電腦系統形成一項新技能 $n_{m+1}$ 時的「智力勞動」 $P_{m+1}$ 可以估計為「智力勞動」 $A_{m+1}$ (1) 與形成新技能的時間段 $T_{m+1}$ 的比值。新技能 $n_{m+1}$ 形成：

$$P_{m+1}=\frac{A_{m+1}}{T_{m+1}}=\frac{\left(S_{m+1}-\sum_{j=1}^{l} S_j^{m+1}\right)\cdot V_{m+1}}{T_{m+1}} \quad . \qquad (2)$$

最後一個表達式評估了系統在形成旨在解決特定問題的單一技能方面的「智力」。 如果我們需要評估整個電腦系統的智力，而不是針對某個特定任務，那麼顯然有必要在特定的一組（一組）不同任務上進行測試。 可以根據心理測量學中所使用的方法形成一組這樣的測驗任務[17, 18]。

先前曾嘗試使用最初為人類開發的心理智力測驗作為評估電腦系統智力的方法。 這個想法最早由 Green 於 1964 年提出[19]，並於 1973 年由 Newell 在開創性論文“You Can't Play 20 Questions with Nature and Win”[20]中得到發展。 這些建議的基本邏輯是透過擴展目標任務集來衡量比系統執行一項特定任務的能力更普遍的東西。 然而，這種方法的一個關鍵缺點是，開發人員可能知道這組問題，並且非常期望他們能夠「調整」系統以提前解決這些問題 [21, 22]。 那些。 事實上，在這種情況下，測試問題將由系統開發人員來解決，而不是由系統本身來解決。

然而，多任務測試一直是並且仍然是人工智慧領域最常見的測量工具，因為它們具有可重複性（測試集是固定的）、公平性（測試集對每個人都是相同的）、可擴展性和足夠的靈活性。適用於各種可能的任務。

讓我們進行一些基於心理測量方法的多任務測驗。 那麼整個電腦系統的「智力」P 可以估計為

$$P=\frac{\sum_{i=1}^{K}\left(\left(S_i-\sum_{j=1}^{l} S_j^i\right)\cdot V_i\right)}{T} \quad , \qquad (3)$$

$S_i$ – 解決第 $i$ 個測試問題所形成的技能的演算法複雜度； $V_i$ 是為解決測驗的第 $i$ 個任務而形成的技能的效率係數； $\sum_{j=1}^{l} S_j^i$ － 用於解決第 $i$ 個測試問題的 $N$ 組先前累積的技能的總演算法複雜度； $T$－總測試執行時間； $K$ – $T$ 期間解決的測驗問題數。

所提出的衡量電腦系統“智力”的方法的主要優點是，它給出了明確的定量評估，該評估還考慮了系統先前積累的技能的“包袱”，以及開發有效知識的能力。解決以前未知問題的技能、任務。 所有這些使我們能夠利用這種評估來比較各種電腦系統的人工智慧，包括那些在先前累積的技能和知識的數量和範圍上有所不同的電腦系統，以及獲得有效解決方案的能力。 例如，如果被比較的兩個系統在規定的時間內解決了測試集中的相同問題，那麼根據（3），初始技能集較小的系統將具有更大的“智力”，並且新技能的有效性在解決上面的問題測試集時獲得的。

***5. 結論***

總結以上考慮，可以得到以下主要結論：

人工智慧是一個系統根據其先前累積的技能、知識和經驗，獨立開發技能（演算法）來執行未事先準備好的任務的能力。

「弱」人工智慧是指使用人類在創建系統的過程中或透過外部培訓灌輸的技能的系統。 因此，實際上，這種類型的系統本身不具有任何智能，在解決問題時，它們使用嵌入其中的創建者工程師的智能。 大多數被認為是「智能」的現代系統實際上都屬於這一類。

「強」人工智慧將由那些能夠在沒有創造者工程師參與的情況下獨立開發新技能來執行之前沒有準備好的任務的系統所擁有。 同時，此類系統的智慧程度應根據其形成此類新技能的能力來評估。 目前，這種類型的人工智慧系統還處於起步階段。

作為評估電腦系統人工智慧等級的量化指標，提出用其“智力”，即係統在形成新技能時，單位時間內完成的“智力勞動”量來衡量（演算法）用於解決它事先未知的問題。 反過來，形成新技能的「智力工作」量取決於這些新技能的演算法複雜性相對於先前累積的形成新技能的技能的增量與其有效性係數的乘積。

***Литература*** ***References*** **參考書目**

1. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 г. // Электронный ресурс. URL: *http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/AH4x6HgKWANwVtMOfPDhcbRpvd1HCCsv.pdf*

2. Каляев И.А. Искусственный интеллект - камо грядеши? Экономические стратегии. 2019. № 5. С. 6–15.

3. Legg S., Hutter M. A collection of definitions of intelligence. 2007.

4. Russel S.J., Norvig P. Artificial Intelligence. A Modern Approach (2nd ed.) Prentice Hall, 2003.

5. Turing A. Computing Machinery and Intelligence, Mind. Oxford University Press. 1950. №

59. P. 433-460.

6. Чем завершился третий тест Тьюринга, Электронный ресурс. URL: *https://vc.ru/flood/59052-chem-zavershilsya-tretiy-test-tyuringa.*

7. Minsky M. Society of mind, Simon and Schuster, 1988.

8. Hernandez-Orallo J. Evaluation in artificial intelligence: from task-oriented to ability-oriented measurement, Artificial Intelligence Review, 2017. P. 397-447.

9. McCarthy J. Generality in artificial intelligence, Communications of the ACM. 1987. 30(12). P. 1030-1035.

10. Newell A., Shaw J.C., Simon H. A. Report on a General Problem Solver Program, Proc. Of the Conf. on Information Processing. 1959.

11. Chollet F. On the Measure of the Intelligence, Electronic resource. URL: *https://arxiv.org/pdf/1911.01547.pdf*

12. Hernandez-Orallo J. The Measure of All Minds: Evaluating Natural and Artificial Intelligence, Cambridge University Press, 2017.

13. Chaitin G.J. Algorithmic Information Theory, Cambridge University Press, 1987.

14. Chaitin G.J. A theory of program size formally identical to information theory, Journal of the ACM (JACM), 1975. (3). P. 329-340.

15. Верещагин Н.К., Шень В.А. Колмогоровская сложность и алгоритмическая случайность, М., МЦНМО, 2013.

16. Grunwald P.D., Vilanyi P.M.. Algorithmic information theory. 2008.

17. Crocker L., Algina J. Introduction to classical and modern test theory. ERIC, 1986.

18. Hambleton R., Swaminathan H., Rogers H. Fundamentals of Item Response Theory, Sage Publications, Inc., 1991.

19. Bert F, Green Jr. Intelligence and computer simulation, Transactions of the New York Academy of Sciences, 1964.

20. Newell A. You can’t play 20 questions with nature and win, Electronic resource. URL: *https://www.coli.uni-saarland.de/~crocker/documents/Newell-1973.pdf*

21. Detterman D.K. A challenge to Watson, Intelligence, 2011. P. 7778.

22. Dowe D.L., Hernndez-Orallo J. Iq tests are not for machines, yet, Intelligence, 2012. P. 7781.

DOI 10.18699/sblai2023-58
УДК 004.032.26

# *Математические проблемы создания искусственных нейронных сетей и искусственный интеллект*

# *Mathematical problems of creating artificial neural networks and artificial intelligence*

# *創造人工的數學問題 神經網路和人工智慧*

Бетелин В.Б.
*академик РАН*
*ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия*
*Academician of the Russian Academy of Sciences*
*FGU FSC NIISI RAS, Moscow, Russia*
*俄羅斯科學院院士 FGU FSC NIISI RAS，俄羅斯莫斯科*
*betelin@niisi.msk.ru*

Галкин В.А.
*доктор физико-математических наук*
*ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия*
*Doctor of Physical and Mathematical Sciences*
*FGU FSC NIISI RAS, Moscow, Russia*
*物理和數學科學博士 FGU FSC NIISI RAS，俄羅斯莫斯科*
*val-gal@yandex.ru*

***Аннотация.*** Предложен общий подход для анализа искусственных нейронных сетей на основе исследования свойств аппроксимации отношений и отображений их приближениями. Выявлены существенные для этого класса задач явления вычислительной неустойчивости, связанной с общими проблемами некорректных задач в гильбертовом пространстве и методами их регуляризации А.Н.Тихонова, типичными для обработки Big Data. Сформулированы критерии точности и применимости моделей искусственных нейронных сетей, применимость к разработке ИИ, рассмотрены примеры их реализации на основе теории интерполяции функций. Развитие идей П.Л.Чебышёва о наилучшем приближении служит отправной точкой для широкого класса математических исследований по оптимизации обучающих наборов для построения ИНС

***Ключевые слова:*** искусственные нейронные сети, ИИ, методы оптимизации, вычислительная неустойчивость, методы регуляризации

***Annotation.*** A general approach proposed for the analysis of artificial neural networks based on the study of the properties for approximation of relations and mappings by their approximations. The phenomena of computational instability, which are significant for this class of problems and are associated with the general problems of ill-posed problems in the Hilbert space and the methods of their regularization by A.N. Tikhonov, typical for Big Data processing, have been identified. Criteria for the accuracy and applicability of artificial neural network models and applicability to AI development formulated, and examples of their implementation based on the theory of function

interpolation are considered. The development of P.L. Chebyshev's ideas about the best approximation serves as the starting point for a wide class of mathematical studies on optimizing training sets for building ANNs.

***Keywords:*** artificial neural networks (ANN), artificial intelligence (AI), optimization methods, computational instability, regularization methods

***註解。*** 基於對關係近似性質及其近似映射的研究，提出了一種用於分析人工神經網路的通用方法。 計算不穩定現象對於此類問題非常重要，並且與希爾伯特空間中不適定問題的一般問題及其大數據處理典型的 A.N. Tikhonov 正則化方法相關，已經被識別。 制定了人工神經網路模型的準確性和適用性以及人工智慧開發的適用性標準，並考慮了基於函數插值理論的實施範例。 P.L. 切比雪夫關於最佳近似的思想的發展是關於優化構建人工神經網路的訓練集的廣泛數學研究的起點

***關鍵字：***人工神經網路、人工智慧、最佳化方法、運算不穩定性、正規化方法

## *1. О необходимости математического обоснования технологий искусственного интеллекта*

Технологии искусственного интеллекта, под которыми, как правило, понимаются искусственные нейронные сети, по сути дела, представляют собой технологии построения по конечному набору данных из некоторого множества (конечномерного или бесконечномерного) аппроксимации функции отображения этого множества в заданное конечномерное множество при условии минимизации некоторого функционала. Сходимость и устойчивость таких аппроксимаций для конечномерных множеств – это теорема А.Н. Тихонова о неподвижных точках отображения на упорядоченных ограниченных множествах. Приложения этой теоремы А.Н. Тихонова и являются математическим обоснованием успеха ИИ типа «Цифровой гроссмейстер», который представляет собой, построенную авторами этого ИИ, аппроксимацию функции отображения конечного упорядоченного множества многих тысяч партий, сыгранных реальными гроссмейстерами, в конечное множество из одной партии при условии минимизации ее близости к выигрышу. По сути дела, «цифровой гроссмейстер» – это поисковик Google, на конечном множестве партий, сыгранных реальными гроссмейстерами, и дополненный авторами этого ИИ метрикой близости партии к выигрышу. Полностью аналогично и математическое обоснование успеха ChatGPT, который также представляет собой аналог поисковика Google, на конечном упорядоченном множестве многих десятков и сотен тысяч письменных произведений реальных авторов (тоже BIG DATA), дополненный авторами этого чата метрикой близости различных фрагментов письменных произведений к заданному фрагменту. В случае бесконечномерных пространств, например, при распознавании и классификации изображений, построенная эмпирическим методом аппроксимация компактного отображения обладает принципиальной неустойчивостью, как будет показано в разделе 2.

## *2. Математическая постановка задачи создания искусственных нейронных сетей (ИНС)*

Многочисленные полуэмпирические инженерные описания ИНС, применяемых для решения различных практических задач, в целом сводятся к следующим двум связанным математическим задачам:

a) По заданному набору экспериментальных точек ($X$, $Y$) «придумать закон – оптимальное интерполирующее отображение» $R: X \to Y$.

b) Для построенного отображения $R$ найти решения уравнения

$$R(x)=c. \tag{1}$$

Множество корней $x(c)=R^{-1}(c)$ уравнения (1) (множество уровня $c$) используется для «классификации» входных данных ИНС $x(c)$. В большинстве типичных задач уравнение (1) может рассматриваться как задача об отыскании неподвижной точки некоторого отображения $f: M \to M$

$$\bar{x} = f(\bar{x}) \ . \tag{2}$$

В многочисленных вычислительных экспериментах по распознаванию образов, обработке акустической, видео и текстовой информации были найдены подходы к созданию программного обеспечения для практического решения ряда трудно формализуемых задач a), b) и (1), (2). Эти успехи породили огромный поток работ и интерес к созданию полуэмпирических методов, носящих название искусственные нейронные сети (ИНС).

Общий подход, лежащий в основе построения ИНС, состоит в принятии гипотезы возможности создания устройства, которое можно обучить на серии примеров принятию решений. Эта размытая формулировка предполагает наличие некоторой связи между выбранными парами объектов $(x, y) \in X \times Y$ , определяющей некоторое отношение $R \subset X \times Y$ (гипотетический закон) [1]. Обычно предполагается, что $R$ является функцией (т.е. каждому значению $x \in X$ соответствует ровно одно значение $y \in Y$ ), при этом аргументы $X$ называются причинами, а множество значений $Y$ - следствиями. Схематически ИНС является параллельной системой распределенной обработки информации в виде ориентированного графа, где вершины графа называются обрабатывающими элементами (искусственные нейроны), а связи между ними называются соединениями. Таким образом, ИНС представляет собой граф — систему узлов, соединённых связями и обменивающихся между собой входными-выходными данными (см., например, рис. 1).

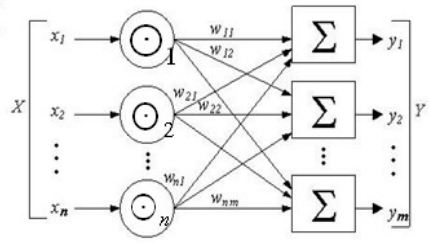


*Рис. 1. Пример мнемосхемы структуры элементарной ячейки одного слоя ИНС*
*Fig. 1. An example of a mnemonic diagram of an ANN elementary cell structure on one layer*
*圖 1. ANN 一層單元結構助記圖範例*

***Цель создания ИНС.*** Настройка ИНС (аналог процедуры автоматизированного программирования структуры ИНС) состоит в подборе семейства искусственных нейронов (преобразований, обозначаемых на рис. 1 значками $\Theta_1$, $\Theta_2$, ..., $\Theta_n$, в вершинах графа) и коэффициентов $w_{i,j}$ умножения значений преобразованных величин вдоль линий соединения вершин на основе дополнительно декларируемых принципов (например, оптимизации). Набор обучающих примеров составляет заданное подмножество $\tilde{R} \subset R$, где отношение $R$ априори неизвестно. Целью создания ИНС является в некотором смысле «оптимальная реконструкция» неизвестного отношения $R$ на основе заданного «обучающего» набора $\tilde{R}$. По своей природе такая постановка задачи является некорректной ввиду существенной множественности её решений («школьная» математически некорректная задача об отыскании кривой, соединяющих заданный набор точек).

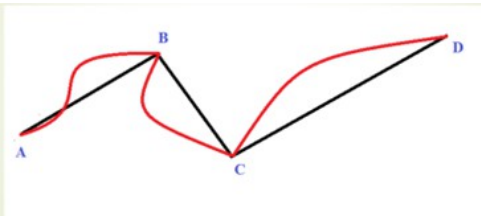



*Рис. 2. «Школьная некорректная задача» об отыскании закона, связывающего экспериментальные точки A, B, C, D, имеющая бесконечное множество решений*
*Fig. 2. "School ill-posed problem" about finding a law connecting experimental points A, B, C, D, which has an infinite number of solutions*
*圖 2. "學校不適定問題"，尋找連接實驗點 A、B、C、D 的規律，該規律有無限多個解*

Таким образом, необходимым элементом построения ИНС служит введение целевого правила (критерия, функционала и т.п.) $F$, на основе применения которого выполняется построение «наилучшего» продолжения заданного отношения $\tilde{R}$ до отношения $R_F$, которое аппроксимирует $R$ (например, посредством минимизации функционала $F$ на некотором множестве параметров). Назовём $R_F$ математической моделью реализации ИНС. Описанная схема обычно применяется для построения продолжения функций, в частности, в задачах интерполяции.

***Что математически означает термин «обучение»?*** Процесс «обучения» является процедурой настройки весов $w_k$ функций активации $\Theta_k$ с

целью уменьшения «расстояния» в некоторой заданной метрике между желаемыми (целевыми) и получаемыми векторами на выходе. В конечном счете – это решение задачи синтеза преобразования $R$, для которого на заданном множестве «обучающих» пар ($x$, $y$) выполняется соотношение $y=R(x)$. Отысканию подлежат веса $w_k$ и функции активации $\Theta_k$ относительно априори выбранной процедуры оптимизации для заданного функционала (метрики).

Типичная постановка теории приближенного вычисления значений функции $F$ на множестве аргументов $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)\in D\subset \mathbb{R}_n$ заключается в выборе оптимального многопараметрического приближения из заданного множества функций $\tilde{R}(x, w_1, w_2, \dots, w_k)\approx R(x)$, где $(w_1, w_2, \dots, w_k)$ - множество параметров, по которым проводится вышеупомянутая оптимизация. Например, для заданных значений аргументов $\tilde{x}^{(l)}\in D, l=1,2,\dots,N$ требуется выполнение минимальности уклонения нормы $F(w_1, w_2, \dots, w_k)=max_{1\le l\le N}\| \tilde{R}(\tilde{x}^{(l)}, w_1, w_2, \dots, w_k)-\tilde{y}^{(l)}\|$ в предположении, что пары $(\tilde{x}^{(l)}\tilde{y}^{(l)}), 1\le l\le N$ находятся в заданном отношении $\tilde{R}$.

Такой подход типичен для задач прогноза, регрессии, построения интерполяционных многочленов [2]. Если условие минимума уклонения означает совпадение значений $\tilde{y}^{(l)}=R(\tilde{x}^{(l)})=\tilde{R}(\tilde{x}^{(l)}, w_1, w_2, \dots, w_k), 1\le l\le N,$ то такой способ построения приближения называется интерполяцией (в этом случае целевой функционал $F(w_1, w_2, \dots, w_k)$ в точке оптимума принимает наименьшее значение, равное нулю). Отметим, что определение функционала $F$ может быть осуществлено разными способами на основе экспертных оценок выбора метрик (расстояний) на множестве значений $Y$, определяющих цели решаемых задач. Такого сорта проблемы возникают при планировании экспериментов в естественных науках, в экономике, при построении алгоритмов распознавания образов, при решении обратных задач классификации объектов, при проектировании систем управления, наведения, прицеливания, навигации и т.п. [2].

Задачи построения ИНС на основе многочленов многих переменных существенным образом связаны с приближением достаточно гладких отображений частичными суммами соответствующего ряда Тейлора, что требует вычисления оценок производных неизвестной функции на обучающем множестве. Это приводит к необходимости решения интегральных уравнений Вольтерра (Фредгольма) 1-го рода типа свёртки с приближённо заданной правой частью. Собственно говоря, этот подход положен в основу популярного названия «свёрточные ИНС». Отметим, что уравнение Фредгольма 1-го рода на пространстве суммируемых функций является типичной некорректной задачей, обладающей выраженной вычислительной неустойчивостью, которая преодолевается на основе методов регуляризации А.Н.Тихонова [17].

***Фундаментальные проблемы устойчивости и сходимости.*** Отметим важные понятия для более общих ИНС, которые ассоциируются с рассмотренным примером.

1. Емкость памяти ИНС, определяемая объемом обучающего набора

$$\tilde{R}_N = \{(\tilde{x}^{(1)}, \tilde{y}^{(1)}), (\tilde{x}^{(2)}, \tilde{y}^{(2)}), \ldots, (\tilde{x}^{(N)}, \tilde{y}^{(N)})\}$$

2. Точность ИНС по приближению заданного класса аппроксимируемых отношений $R$. Достижимость поставленных целей.

3. Скорость обучения ИНС на основе заданного алгоритма $F$.

4. «Гибкость» ИНС по отношению к перенастройке её структуры (а именно, к динамическому изменению набора функций искусственных нейронов $\Theta_i$, правила выбора весовых коэффициентов $w_i$, изменению обучающего набора $\tilde{R}_N$ и т.п.).

5. Быстродействие ИНС.

6. Устойчивость получаемых выходных данных при изменениях входных данных.

7. Реализуемость вычислительных процедур на искусственных нейронах, их надёжность.

8. Зависимость точности и быстродействия ИНС от её размерности.

9. Возможность автоматического понижения размерности ИНС в процессе эксплуатации с целью оптимизации её характеристик.

10. Отказоустойчивость, резервирование функций и помехозащищенность ИНС.

11. Совместимость с другими ИНС за счет расширения структуры на основе сращивания их графов и взаимного обмена данными.

12. Топологические инварианты структуры ИНС и гомотопическая эквивалентность различных реализаций ИНС.

Отметим, что содержание п. 11 относится к комплексу, составленному из ИНС различной природы, который можно охарактеризовать как приближение систем искусственного интеллекта (ИИ). Соответственно, в дальнейшем под технологией ИИ мы понимаем упорядоченную иерархию связанных между собой ИНС на основе априори введённого Человеческим интеллектом отношения порядка на этом множестве. Очевидно, что при таком подходе ИИ является производным работы естественного (человеческого) интеллекта.

Согласно теореме Гёделя в любой непротиворечивой формальной системе на языке этой системы можно сформулировать утверждение, не выводимое вместе со своим отрицанием, то есть формальная система является неполной. Для разрешения неопределенности необходимо добавить это утверждение или его отрицание в состав аксиом рассматриваемой формальной системы. Для машины Тьюринга это означает наличие внешней по отношению к ней более интеллектуально развитой системы, которой каждый раз необходимо выбирать,

какую новую аксиому добавить в формальную систему и в соответствии с этим выбором исправить алгоритм работы машины Тьюринга. Такие интеллектуальные системы могут образовывать иерархию все более сложных и всеобъемлющих систем, на вершине которой находится Человек. Необходимость такой иерархии следует из теоремы Левенгейма–Сколема, которая утверждает, что любая система аксиом допускает намного больше существенно различных интерпретаций, чем предполагалось при ее создании. Аксиомы не устанавливают пределов для интерпретаций или моделей, и поэтому необходимо существование корректора — Человека. Аксиоматические системы, к которым применима теорема Левенгейма–Сколема, предназначаются для задания одной вполне конкретной интерпретации, и, будучи применимыми к совершенно различным моделям, они тем самым не соответствуют своему назначению. Подводя итог сказанному, можно отметить, что прорыв, произведенный ИНС и методами глубокого обучения, обеспечил решение задач, отражающих периферийные функции человека. Сам процесс обдумывания, планирования своих действий («поведенческое» управление), логического «рассуждения» и абстрактного мышления пока не воспроизводится работой искусственных нейронных сетей. Эти процессы так или иначе будут воспроизводиться на основе объединения различных методов ИИ (не только и не столько нейросетевых) с имитационным моделированием [18].

Естественным развитием упомянутых выше интерполяционных идей построения ИНС и сопутствующей иерархической системы ИИ является интерполяция в пространствах логических переменных и применение оптимизационных процедур на упорядоченной структуре логического вывода, связанного с теоремами Гёделя и Левенгейма–Сколема.

***Big Data и эффективность обучения ИНС на их основе.*** Что касается возникающих проблем с точностью ИНС при неограниченном наращивании объема обучающей совокупности $\tilde{R}_N$, то здесь показательными являются примеры К.Д.Т.Рунге [3] и С.Н.Бернштейна [4] для интерполяционных многочленов с неограниченным увеличением количества узлов интерполяции.

Примеры Рунге, Бернштейна и общий результат Фабера указывают на возможность глубокого заблуждения, что неограниченное наращивание нейронов в ИНС и большие объемы данных $N \gg 1$ (Big Data), положенные в основу обучающих наборов $\tilde{R}_N$, могут обеспечить её эффективность в рамках ИИ. То же относится ко многим утверждениям о построении так называемых «цифровых двойников» за счет безграничного наращивания обучающих наборов данных $\tilde{R}_N = \{(\tilde{x}^{(1)}, \tilde{y}^{(1)}), (\tilde{x}^{(2)}, \tilde{y}^{(2)}), \ldots, (\tilde{x}^{(N)}, \tilde{y}^{(N)})\}$.

Указанные замечания относятся к общей фундаментальной проблеме анализа вычислительной устойчивости ИНС при наращивании объёмов обучающих наборов и как следствие — границ реализуемости и безопасной

применимости систем ИИ, построенных на комплексах взаимодействующих ИНС.

Подчеркнём, что классическая теорема Вейерштрасса [5] о плотности множества многочленов в пространстве непрерывных функций на компакте позволяет утверждать существование сходящихся ИНС, построенных на базе многочленов, но теорема Фабера, а также примеры К.Д.Т. Рунге и С.Н.Бернштейна указывают на риски возникновения значительных ошибок при применении ИНС, построенных на основе многочленов, удовлетворяющих условию (3) и обучающих множеств $\tilde{R}_N$ при $N \gg 1$ .

Важно отметить, что симплициальные аппроксимации многомерных непрерывных отображений на симплициальных компактных комплексах имеют чётко выраженную структуру ИНС (которую назовём симплициальной ИНС), представленную на рис.1. Процедура барицентрического подразделения симплициальных комплексов [7] на компактах в сочетании с равномерной непрерывностью отображений на них позволяет утверждать, что таким образом построенные симплициальные ИНС $R_F$ равномерно сходятся к $R$ на компактах при диаметре $\delta_N > 0$ барицентрических подразделений комплекса, стремящемся к нулю:

$$\| R_F - R \|_C \to 0, N \to \infty, \delta_N \to 0$$

Подчеркнём, что скорость сходимости симплициальной ИНС на комплексе $K$ для произвольных непрерывных отображений $R$ определяется модулем непрерывности $\omega_R(\delta) = \sup_{\|u-v\| \le \delta} \| R(u) - R(v) \|_{C(K)}, \delta > 0$ . Нетрудно убедиться, что погрешность приближения $\| R_F - R \|_C$ на симплициальном комплексе $K$, являющемся компактом в $\mathbb{R}_n$ , оценивается сверху величиной $\omega_R(\delta)$ , где $\delta > 0$ – точная верхняя грань диаметра симплексов в комплексе $K=D$, на котором определено отображение $R$ со значениями в $\mathbb{R}_m$ . Действительно, на каждом симплексе $T$, входящем в симплициальный комплекс $K$, справедлива формула

$$R_F(x) = \sum_{i=0}^{n} \mu_i R(a_i), \; x = \sum_{i=0}^{n} \mu_i a_i \in T, \; \mu_i \ge 0, \; \sum_{i=1}^{n} \mu_i = 1,$$

где $\mu_i$ — барицентрические координаты точки $x$ в симплексе $T$, натянутом на вершины $a_i, 0 \le i \le n$ , $n$ — размерность симплекса $T$. Таким образом, поскольку диаметр симплекса $T$ не превосходит $\delta > 0$ , то

$$\| R(x) - R_F(x) \|_{\mathbb{R}_m} \le \sum_{i=0}^{n} \mu_i \| R(x) - R_F(a_i) \|_{\mathbb{R}_m} \le \omega_R(\delta) \; .$$

Следовательно, получается оценка сверху для объема $N$ обучающего набора $\tilde{R}_N$ симплициальной ИНС $N \le (n+1) \mathrm{vol}(K) \delta^{-1}$ , где $\mathrm{vol}(K)$ – оценка

объема симплициального комплекса $K$. Отметим, что в сочетании с заданной точностью ИНС $\varepsilon$, выраженной через модуль непрерывности $\omega_R(\delta)$, получаем условие

$$\varepsilon \approx \omega_R\left(\frac{(n+1)\,\mathrm{vol}(K)}{N}\right) .$$

В частности, для гладкого отображения $R$ погрешность приближения $R_F$ на комплексе $K$ пропорциональна величине $N^{-1}$. Однако, в большинстве практических задач разумная априорная информация о модуле непрерывности $\omega_R$ отсутствует, что приводит к возможности грубых ошибок аппроксимации при интуитивном выборе объема $N$ обучающего множества $\tilde{R}_N$. Ясно, что в силу этих причин не существует универсальной по точности симплициальной ИНС на заданном объеме $N$ обучающего набора $\tilde{R}_N$. Разумной является постановка задачи о точности симплициальных ИНС на классах непрерывных отображений в зависимости от априорной информации о модуле непрерывности $\omega_R(\delta)$.

Отметим также, что в силу монотонного возрастания $\omega_R(\delta)$ существенное влияние на величину погрешности аппроксимации в формуле (6) оказывает размерность $n$ пространства аргументов $x \in K$. Это имеет значение для входных данных большой размерности $n \gg 1$, в частности, эта ситуация типична при обработке видеоинформации и распознавании образов.

Следует подчеркнуть, что эффективность рассматриваемых ИНС обусловлена тем, что «предсказываемое» значение функции $R(x)$ обеспечивается «окружением» точки $x$ внутри симплекса $T \in K$ достаточно малого диаметра $\delta$, в вершинах которого заданы обучающие значения из $R_N$, которые за счёт линейной интерполяции распространяются на точку $x$. При этом её барицентрические координаты $\{\mu_i\}$ в точности являются весовыми коэффициентами связей в симплициальной ИНС, соответствующей рисунку 1. Естественно, что по построению ИНС в силу приведенных конструктивных особенностей принципиально не могут быть использованы для разумных с точки зрения точности постановок задач прогноза, выходящих за границы комплекса $K$ (экстраполяции). Для этих целей необходимо рассмотрение обучающих наборов на более широких комплексах $K' \supset K$, что, несомненно, требует экспертных оценок, выполненных Человеком.

П.Л.Чебышёвым при рассмотрении задачи о многочлене, наименее уклоняющемся от нуля, была решена задача о минимизации ошибки интерполяции заданного класса функций за счет расположения узлов интерполирования по корням многочленов Чебышёва [8]. Очевидно, что это служит отправной точкой для широкого класса исследований по оптимизации выбора обучающих наборов для построения ИНС.

Важнейшим аспектом практического применения ИНС является существенное снижение объема $N$ обучающего множества. На этом пути эффективные решения связаны с применением процедуры последовательного усреднения аппроксимаций на основе ЗБЧ (закона больших чисел П.Л. Чебышёва), дающего существенное ускорение сходимости частичных сумм в теории тригонометрических рядов Фурье [9]. Аналогичный эффект связан с теоремой Мазура [1], позволяющей за счёт процедуры усреднения превратить слабо сходящиеся последовательности в сильно сходящиеся. Близкое явление имеет место в методе Ричардсона ускорения сходимости разностных схем на грубых сетках [11].

Отметим, что так называемые многослойные ИНС представляют собой суперпозицию нескольких симплициальных ИНС, в которых могут реализовываться также обратные связи и т.п. Вопросы их декомпозиции, точности, эффективности в настоящее время является, по большей мере, областью инженерных вычислительных экспериментов.

Важным моментом для будущих исследований математической природы ИНС является отыскание связанных с ними топологических инвариантов (гомотопических групп) и отыскание условий эквивалентности структуры различных математических моделей, реализующих ИНС.

Предложенная конструкция построения вышеупомянутых симплициальных ИНС, как и большинство публикаций по разработке ИНС, основанных на мнемосхеме (рис. 1), идейно связана с работами А.Н. Колмогорова и В.И. Арнольда [13] о представлении непрерывных функций. В 1957 г. ими была доказана теорема (напрямую относящаяся к 13-й проблеме Д. Гильберта), что любая непрерывная функция многих переменных может быть представлена в виде суперпозиции операций сложения и конечного набора функций одной переменной.

ИНС, основанные на интерполяции данных, являются исключительными и удобными с точки зрения их детального исследования, теоретического анализа, поскольку минимум оптимизирующего функционала приводит к точно решаемым задачам, на которых можно исследовать принципиально важные проблемы построения и функционирования ИНС.

На практике размерность пространства входных данных существенно больше размерности выходных данных. Типичное использование ИНС нацелено на «сжатие» обрабатываемого потока больших объёмов входных данных с целью их классификации, распознавания объектов, видео и акустической информации и т.п.

Процедура сжатия больших объемов данных может быть рассмотрена как действие компактного непрерывного оператора $R$ в гильбертовом пространстве $H$, т.е. $R : H \to H$ . Соответственно, процедуру «сжатия» входной информации под действием оператора $R$ можно трактовать как то, что ограниченные

множества входных данных Big Data в бесконечномерном гильбертовом пространстве $H$ преобразуются ИНС в предкомпактные подмножества выходных данных $y \in H$ (почти конечные множества, т.е. хорошо аппроксимируемые конечными ε-сетями). Задачи распознавания образов, задачи их классификации можно сформулир*овать как отыскание решения* $x \in H$ *обратной задачи*

$$R(x)=y \qquad (4)$$

на основе полученных данных $y \in H$, лежащих в предкомпактном множестве. Существенной для этого класса задач является теорема Бэра [9] о невозможности представления полного метрического пространства в виде счетного объединения нигде неплотных подмножеств. Центральной проблемой для отыскания решений обратной задачи (4) с компактным непрерывным оператором $R$ на гильбертовом пространстве $H$ является либо отсутствие решения уравнения (4) (т.е. не при всех значениях $y \in H$ существует решение уравнения (4)), либо отсутствие свойства непрерывности у обратного оператора $R^{-1}$ на образе $R(H) \subset H$ – принципиальная вычислительная неустойчивость решений задачи (4).

***Теорема* 1,** [10]. *Пусть* $R: H_1 \to H_2$ *является непрерывным компактным отображением на гильбертовых пространствах* $H_1, H_2$. *Пусть на образе* $R(H_1) \subset H_2$ *определено обратное отображение* $R^{-1}: R(H_1) \to H_1$. *Тогда множество точек* $y \in H_2$, *для которых не существует решение уравнения* (4), *является всюду плотным в* $H_2$, *а оператор* $R^{-1}: R(H_1) \to H_1$ *не является непрерывным ни в каком открытом шаре в индуцированной метрике пространством* $H_2$ *на образе* $R(H_1)$.

Отметим, что для линейных операторов $R$, удовлетворяющих условиям этой теоремы, отсутствие непрерывности у обратного оператора $R^{-1}$ имеет место в каждой точке образа $R(H_1) \subset H_2$ [11]. Поскольку это явление справедливо на всюду плотном во множестве выходных данных $y \in R(H_1)$, то обработка больших потоков данных на основе ИНС с целью классификации и распознавания входных данных $x$, основанная на решении задачи (4) с компактным оператором $R$, является всегда некорректной задачей и устойчивое получение аппроксимации решения $x$ дополнительно требует применения методов регуляризации [17]. В частности, это явление типично для аппаратной цифровой обработки данных на основе частотной фильтрации сигналов с подавлением высокочастотной компоненты входного сигнала $x \in H_1 = L_2[a, b]$.

Таким образом, классы задач, основанные на применении ИНС как средства аппроксимации отображений и построения решений обратных задач с

компактным оператором, обнаруживают общее математическое свойство – вычислительную неустойчивость при обработке больших массивов данных. Эти проблемы аналогичны также для задач «восстановления» образов по «цифровым двойникам», поскольку имеют ту же математическую природу.

***Модели ИНС и задачи о неподвижной точке.*** Построение модели ИНС может рассматриваться как задача (2) об отыскании неподвижной точки $\bar{x}(\bar{x}=f(\bar{x}))$ для некоторого отображения $f:M\to M$ на множестве данных $M\supset X\cup Y$ . Выбор отображения $f$ назовём слоем ИНС. По существу, построение слоя ИНС является этапом построения многослойной ИНС, состоящей из последовательно применяемых преобразований $f_n:M\to M$ – слоёв, которые последовательно модифицируются пользователем для достижения некоторого «оптимального, идеального для пользователя» результата. Искомый результат представляет собой неподвижную точку некоторого предельного преобразования $f=\lim_{n\to\infty} f_n$ . В многих случаях процесс отыскания $\bar{x}$ основывается на рассмотрении последовательности итераций

$$x_{n+1}=f_n(x_n) \tag{5}$$

Часто при конкретных реализациях многослойных ИНС слои выбирают одинаковыми, т.е. итерации $f_n\equiv f$ . Такой подход к созданию многослойных ИНС, вообще говоря, может не сходиться. А.Н.Шарковским для одномерных итераций $x_{n+1}=f_n(x_n)$ был обнаружен динамический хаос [19].

Таким образом, построение цепочки слоёв ИНС должно подчиняться модификациям, гарантирующих сходимость итераций.

Ниже рассмотрены алгоритмы, обладающие такими свойствами.

***Теорема* 2,** [22]. *Пусть (M, ρ) – полное метрическое пространство, на котором действует последовательность равностепенно сжимающих операторов*

$$f_n:M\to M,\ n\in\mathbb{N} \tag{6}$$

*т. е. постоянные сжатия для $f_n$ не превосходят величины $0\le q<1$. Пусть последовательность неподвижных точек $\bar{x}_n, n\in\mathbb{N}$ , отображений $f_n$ сходится к некоторой точке $\bar{x}\in M$ . Тогда точка $\bar{x}$ может быть найдена как предел итераций*

$$x_{n+1}=f_{n+1}(x_n),\ n=0,1,\ldots\ , \tag{7}$$

*где начальная точка $x_0\in M$ выбирается произвольно.*

***Замечание.*** Достаточным условием сходимости точек $\bar{x}_n$ является поточечная сходимость отображений $f_n$ на *M*.

Приведённая выше теорема связана с построением систем с единственным решением. Практические задачи классификации и распознавания образов

связаны с установлением соответствия поступающих данных одному из множества объектов, каждому из которых сопоставляется неподвижная точка многослойной ИНС. То есть для таких отображений неподвижная точка не единственна, поэтому одним из важнейших аспектов создания устойчивых многослойных ИНС является построение алгоритмов, стабилизирующих предельное поведение итераций (7), при отказе от требования теоремы 2, связанного со свойством равномерного сжатия. В частности, хаотическое поведение последовательностей (5), (6) обусловлено наличием подмножества, где отображение (6) является достаточно сильно растягивающим. Аналогичными свойством обладает достаточно широкий класс отображений, в который, естественно, попадают экспериментально создаваемые ИНС. Такое поведение типично для гиперболических динамических систем [21].

С указанными явлениями связано общее свойство неустойчивости поведения высокочастотных гармоник разложения отображений в ряд Фурье, а именно, высоким номерам базисных функций соответствуют большие коэффициенты растяжения, порождающие хаотическое поведение итераций (5).

***Теорема* 3,** [22]**.** *Пусть непрерывное отображение $f$ на $\mathbb{R}_n$ оставляет инвариантным ограниченный замкнутый шар $M$. Пусть последовательность итераций* (7) *определяется формулами*

$$x_n = f\left(\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1} x_i\right) \qquad (8)$$

*Предположим, что почти везде существует предел средних арифметических* $\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1} x_i$ *. Тогда последовательность итераций* (8) *сходится к неподвижной точке* $\bar{x}$ *отображения* $f : M \to M$ *почти для всех начальных точек* $x_0 \in M$ *.*

Таким образом, алгоритмы (8) могут быть положены в основу создания классов устойчивых сходящихся ИНС.

Открытым является фундаментальный вопрос о сходимости средних арифметических $\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1} x_i$ . Он содержательно решён в рамках эргодической теоремы Биркгофа–Хинчина [23] для отображений $f : M \to M$ , сохраняющих меру. Вычислительные эксперименты авторов демонстрируют надёжность и вычислительную устойчивость алгоритма (8) для широкого класса непрерывных отображений шара в себя.

***Неподвижные точки отображений на упорядоченных пространствах (монотонная сходимость итераций).*** Перспективным направлением построения и обоснования сходимости алгоритмов (2) для иерархии ИНС, которые составляют структуру ИИ является применение теорем о неподвижных точках на локально выпуклых и упорядоченных пространствах, связанных с работами А.Н.Тихонова, Ю.Шаудера и А.Тарского [1]. Эти теоремы позволяют во многих практических задачах для ИНС, основанных на сохраняющих порядок непрерывных отображениях, построить конструктивные сходящиеся алгоритмы к наименьшей (наибольшей) неподвижной точке. В частности, это утверждение имеет глубокие приложения в формальной семантике языков программирования (в абстрактной интерпретации – теории аппроксимации семантики компьютерных языков, связанной с именами П. и Р.Кузо [25]).

***Методы погружения и применение ИНС для решения задач механики сплошной среды.*** Следует подчеркнуть, что в некотором смысле наиболее адаптированной к технологии ИНС, разработанной и универсальной является теория вычислительных методов для линейных задач. Поэтому с этой точки зрения важными являются процедуры «погружения» нелинейных задач в общие классы линейных за счет изменения исходной размерности описания и расширения функциональных пространств [26].

Отмеченное выше погружение нелинейных систем в линейную динамику может быть универсальным образом реализовано в рамках концепции функциональных решений для квазилинейных систем на основе вложения Янга соболевских обобщенных решений в пространство линейных функционалов, снабженное тихоновской топологией [27, 28].

Заметим, что условие слабой устойчивости [27, 28] по своей природе значительно проще понятия устойчивости в теории разностных схем для нелинейных задач, оно отражает «правильное» воспроизведение основных законов сохранения. Поэтому предложенный метод погружения нелинейных законов сохранения в линейные задачи на пространстве функциональных решений, снабжённом топологией А.Н.Тихонова, имеет универсальный вычислительный характер, реализуемый в рамках локально выпуклых ИНС, соответствующих мнемосхеме на рис. 1. Это обусловлено тем, что определение функционального решения естественным образом продолжается на минимальную выпуклую оболочку, содержащую функциональные решения для заданных начальных данных интегральной формы задачи Коши.

***1. On the need for mathematical justification of artificial intelligence technologies.***

Artificial intelligence (AI) technologies, which, as a rule, are understood as artificial neural networks (ANN), in fact, are technologies for constructing approximation of the mapping from a finite set of data (belonging to finite-dimensional or infinite-dimensional spaces) into a given finite-dimensional set, provided that some functional is minimized. The convergence and stability of such approximations is A.N. Tikhonov's Theorem on fixed points of mappings on ordered bounded sets. The applications of this theorem are the mathematical justification for the success of AI of the "Digital Grandmaster" type. It was constructed by the authors of this AI as approximation for the mapping from a finite ordered set of many thousands of games played by real grandmasters into a finite set of one game, provided its distance to winning is minimized. In essence, the “digital grandmaster” is a Google search engine based on a finite set of games played by real grandmasters, and supplemented by the authors of this AI with a metric of the game’s proximity to winning. The mathematical justification of the ChatGPT success, which is also an analogue of the Google search engine, is completely analogous to the finite ordered set of many tens and hundreds of thousands of written works by real authors (they are also Big Data). It is supplemented by the authors of this chat with the metric for evaluation the proximity of various fragments of written works to a given fragment. As will be shown in Section 2, in the case of infinite-dimensional spaces, for example, related to the problems of image recognition and classification, the approximation of compact mapping, constructed by the empirical methods, is fundamentally unstable.

***2. Mathematical formulation of the problem of creating artificial neural networks.***

Numerous semi-empirical engineering descriptions of ANN used to solve various practical problems are generally reduced to the following two related mathematical problems:

a) For a given set of experimental points "come up with a law – optimal interpolation mapping";

b) For the constructed mapping find solutions to the Equation

$$R(x)=c \tag{1}$$

The set of roots $x(c)=R^{-1}(c)$ of Equation (1) (the set of level $c$) is used to "classify" the input data of the ANN $x(c)$. In most typical problems, Equation (1) considered as a problem of finding a fixed point of some mapping $f:M \to M$

$$\bar{x}=f(\bar{x}) \quad . \tag{2}$$

In numerous computational experiments on pattern recognition, processing of acoustic, video and text information, approaches have been found to create software for the practical solution of a number of difficult-to-formalize problems (a), (b) and

(1), (2). These successes have generated a huge flow of work and interest in the creation of semi-empirical methods called artificial neural networks (ANN). The general approach underlying the construction of the ANN consists of accepting the hypothesis of the possibility of creating a device that can be trained on a series of examples of decision-making. This vague formulation assumes that there is some connection between the selected pairs of objects $(x, y) \in X \times Y$, which determines some relation $R \subset X \times Y$ (hypothetical law) [1]. It is usually assumed that $R$ is a function (i.e., exactly one value $x \in X$ corresponds to each value $y \in Y$), while the arguments $X$ are called causes, and the set of values are called $Y$ consequences. Schematically, the ANN is a parallel system of distributed information processing in the form of a directed graph, where the vertices of the graph are called processing elements (artificial neurons), and the sluices between them are called connections. Thus, the ANN is a graph — a system of nodes connected by sluices, exchanging input and output data among themselves (see, for example, Fig. 1).

***The purpose of creating an ANN.*** Setting up an ANN (analogous to the procedure of automated programming of the ANN structure) consists in selecting a family of artificial neurons (transformations indicated in Fig. 1 by icons $\Theta_1$, $\Theta_2$, ..., $\Theta_n$, in the vertices of the graph) and multiplication coefficients $w_{i,j}$ to the values of the transformed quantities along the vertex connection lines based on additionally declared principles (for example, optimization). The collection of training examples is a given subset $\tilde{R} \subset R$, where the relation $R$ is a priori unknown. The purpose of creating an ANN is (in a some sense) an "optimal reconstruction" of an unknown relation $R$ based on a given "training" set $\tilde{R}$. By its nature, this formulation of the problem is ill-posed one due to the significant multiplicity of its solutions (for example, it is the "school problem" of finding a curve connecting a given set of points).

Thus, a necessary element of building an ANN is the introduction of a target rule (criterion, functional, etc.) $F$, based on the application of which the construction of the "best" continuation of a given relationship $\tilde{R}$ to a relationship $R_F$ is performed. It approximates $R$ (for example, by minimizing the functional $F$ on a certain set of parameters). Let us call the relation $R_F$ as mathematical model of the ANN implementation. The described scheme is usually applied to construct continuation of functions, in particular, in interpolation problems.

***What does the term "learning" mean mathematically?*** The "learning" process is a procedure for adjusting the weights $w_k$ of activation functions $\Theta_k$ in order to reduce the "distance" in some given metric between the desired (target) and the resulting vectors at the output. Ultimately, this is a solution to the problem of synthesis the transformation $R$, for which a relation $y=R(x)$ is performed on a given set of "training" pairs $(x, y)$. Weights $w_k$ and activation functions $\Theta_k$ are to be found

with respect to the a priori selected optimization procedure for a given functional (metric). A typical formulation of approximate calculation of function $F$ values on a set of arguments $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)\in D\subset \mathbb{R}_n$ consists in choosing the optimal multi-parametric approximation from a given set of functions $\tilde{R}(x, w_1, w_2, \dots, w_k)\approx R(x)$, where $(w_1, w_2, \dots, w_k)$ is the set of parameters for which the above optimization is carried out. For example, for the given values of the arguments $\tilde{x}^{(l)}\in D, l=1,2,\dots,N$ the minimum of the deviation of the norm $F(w_1, w_2, \dots, w_k)=max_{1\le l\le N}\| \tilde{R}(\tilde{x}^{(l)}, w_1, w_2, \dots, w_k)-\tilde{y}^{(l)}\|$ is required, assuming that the pairs $(\tilde{x}^{(l)}\tilde{y}^{(l)}), 1\le l\le N$ are in a given relationship $\tilde{R}$. This approach is typical for forecasting, regression, and the construction of interpolation polynomials [2]. If the minimum deviation condition means that, the values coincide

$$\tilde{y}^{(l)}=R(\tilde{x}^{(l)})=\tilde{R}(\tilde{x}^{(l)}, w_1, w_2, \dots, w_k), 1\le l\le N,$$

then this method of constructing an approximation is called interpolation (in this case, the target functional $F(w_1, w_2, \dots, w_k)$ at the optimum point takes the smallest value equal to zero). Note that the functional definition $F$ can be carried out in different ways based on expert assessments of the choice of metrics (distances) on a set of values $Y$ that determine the goals of the tasks being solved. This kind of problems arise when planning experiments in the natural sciences, in economics, when construct pattern recognition algorithms, when solving inverse problems of object classification, when designing control systems, guidance, aiming, navigation, etc. [2].

The problems of constructing an ANN based on polynomials of many variables are essentially related to the approximation of sufficiently smooth mappings by partial sums of the corresponding Taylor series, which requires calculating estimates of derivatives of an unknown function on the training set. This leads to the need to solve Volterra (Fredholm) integral equations of the 1st kind of convolution type with an approximately given right-hand side. Strictly speaking, this approach is the basis of the popular name "convolutional ANN". Note that the Fredholm equation of the 1st kind on the space of summable functions is a typical ill-posed problem with pronounced computational instability, which is overcome on the basis of A.N.Tikhonov regularization methods [17].

***Fundamental problems of stability and convergence.*** Note the important concepts for more general ANN that are associated with the considered example.

1. The memory capacity of the ANN, determined by the volume of the training set $\tilde{R}_N=\{(\tilde{x}^{(1)}, \tilde{y}^{(1)}), (\tilde{x}^{(2)}, \tilde{y}^{(2)}), \dots, (\tilde{x}^{(N)}, \tilde{y}^{(N)})\}$.

2. The accuracy of the ANN according to a given class of approximated relations $R$. Achievability of the set goals.

3. The learning rate of the ANN based on a given algorithm $F$.

4. The "flexibility" of the ANN in relation to the reconfiguration of its structure

(namely, to a dynamic change in the set of functions of artificial neurons $\Theta_i$, the rules for choosing weight coefficients $w_i$, changing the training set $\tilde{R}_N$, etc.).

5. Performance of ANN.

6. Stability of the received output data when the input data changes.

7. Feasibility of computational procedures on artificial neurons, their reliability.

8. The dependence of the accuracy and speed of the ANN on its dimension.

9. The possibility of automatic reduction of the dimension of the ANN during operation in order to optimize its characteristics.

10. Fault tolerance, redundancy of functions and noise immunity of ANN.

11. Compatibility with other ANN due to the expansion of the structure based on the splicing of their graphs and mutual data exchange.

12. Topological invariants of the ANN structure and homotopy equivalence of various implementations of ANN.

Note that the content of the item 11 refers to a complex composed of ANNs of various nature, which can be characterized as an approximation of Artificial Intelligence systems. Accordingly, in the future, by AI technology we mean an ordered hierarchy of interconnected ANNs based on the a priori introduced by Human intelligence order relation on this set. Obviously, with this approach, AI is a derivative of the work of natural (human) intelligence. According to Gödel's Theorem, in any consistent formal system, in the language of this system, it is possible to formulate a statement that is not deducible together with its negation, i.e. the formal system is incomplete. To resolve the uncertainty, it is necessary to add this statement or its negation to the axioms of the formal system under consideration. For a Turing Machine, this means that there is a more intellectually developed system external to it, which each time needs to choose which new axiom to add to the formal system and, in accordance with this choice, correct the algorithm of the Turing Machine. Such intelligent systems can form a hierarchy of increasingly complex and comprehensive systems, at the top of which is a Person. The need for such a hierarchy follows from the Levenheim–Skolem Theorem, which states that any system of axioms allows for much more significantly different interpretations than was assumed when it was created. Axioms do not set limits for interpretations or models, and therefore the existence of a Human corrector is necessary. Axiomatic systems, to which the Levenheim–Skolem Theorem applies, are intended to set one very specific interpretation, and, being applicable to completely different models, they thereby do not correspond to their purpose. Summing up the above, it can be noted that the breakthrough made by ANNs applications and deep learning methods provided the solution of problems reflecting the peripheral functions of a Person. The very process of thinking, planning one's actions ("behavioral" management), logical "reasoning" and abstract thinking is not yet reproduced by the work of the Artificial Neural Networks. These processes will be reproduced one way or another on the

basis of combining various methods and (not only and not so much Neural Network) with simulation modeling [18].

The natural development of the above-mentioned interpolation ideas of constructing the ANNs and the accompanying hierarchical AI system is the interpolation in the spaces of logical variables and the application of optimization procedures on the ordered structure of logical inference associated with the Gödel and Levenheim–Skolem Theorems.

***Big Data and the effectiveness of ANN training based on them.*** As for the emerging problems with the accuracy of the ANN with an unbounded increase in the volume of the training set $\tilde{R}_N$, the examples of K.D.T.Runge [3] and S.N.Bernstein [4] for interpolation polynomials with an unrestricted increase in the number of interpolation nodes are indicative here. The Runge's, Bernstein's examples and Faber's general result indicate the possibility of a deep misconception that the unlimited growth of neurons quantity in the ANN and large amounts of data $N \gg 1$ (Big Data), which form the basis of training sets $\tilde{R}_N$, can ensure its effectiveness within the framework of AI. The same applies to many statements about the construction of so-called "digital twins" due to the limitless expansion of training data sets $\tilde{R}_N = \{(\tilde{x}^{(1)}, \tilde{y}^{(1)}), (\tilde{x}^{(2)}, \tilde{y}^{(2)}), \ldots, (\tilde{x}^{(N)}, \tilde{y}^{(N)})\}$.

These remarks relate to the general fundamental problem of analyzing the computational stability of the ANN when increasing the volume of training sets and, consequently, the boundaries of the feasibility and safe applicability of AI systems built on complexes of interacting ANNs.

We emphasize that the classical Weierstrass Theorem [5] on the density of the set of polynomials in the space of continuous functions on a compact allows us to assert the existence of convergent ANNs constructed based on polynomials. However, Faber's Theorem, as well as K.D.T.Runge's and S.N.Bernstein's examples indicate the risks of significant errors when using ANN with polynomials satisfying condition (3) and training sets $\tilde{R}_N$ at $N \gg 1$.

It is important to note that simplicial approximations of multidimensional continuous mappings on simplicial compact complexes have a well-defined ANN structure (which we will call simplicial ANN), shown in Fig.1. The procedure of the barycentric subdivision of simplicial complexes [7] on compacts in combination with the uniform continuity of the mappings on them allows us to assert that the simplicial ANN constructed in this way uniformly converge to on compacts with the diameter $\delta_N > 0$ of the barycentric subdivisions of the complex tending to zero:

$$\|R_F - R\|_C \to 0, N \to \infty, \delta_N \to 0 \quad .$$

We emphasize that the convergence rate of a simplicial ANN on a complex *K* for arbitrary continuous mappingis *R* determined by the modulus of continuity $\omega_R(\delta) = \sup_{\|u-v\| \le \delta} \|R(u) - R(v)\|_{C(K)}, \delta > 0$. It is not difficult to make sure that the approximation error $\|R_F - R\|_C$ on a simplicial complex *K*, which is compact set in

$\mathbb{R}_n$ , is estimated from above by value $\omega_R(\delta)$ , where $\delta>0$ is supremum of the diameter of the simplexes in the complex $K=D$ on which the mapping $R$ with values in $\mathbb{R}_m$ is defined. Indeed, on every simplex $T$ included in the simplicial complex $K$, the formula is valid

$$R_F(x)=\sum_{i=0}^{n}\mu_i R(a_i),\ x=\sum_{i=0}^{n}\mu_i a_i\in T,\ \mu_i\geq 0,\ \sum_{i=1}^{n}\mu_i=1,$$

where $\mu_i$ are the barycentric coordinates of a point $x$ in a simplex $T$ stretched over vertices $a_i, 0\leq i\leq n$ , $n$ is the dimension of the simplex $T$. Thus, since the diameter of the simplex $T$ does not exceed $\delta>0$ , then

$$\|R(x)-R_F(x)\|_{\mathbb{R}_m}\leq\sum_{i=0}^{n}\mu_i\|R(x)-R_F(a_i)\|_{\mathbb{R}_m}\leq\omega_R(\delta) \quad .$$

Consequently, an upper bound is obtained for the volume $N$ of the training set $\tilde{R}_N$ of the simplicial ANN $N\leq(n+1)\mathrm{vol}(K)\delta^{-1}$ , where vol($K$) is an estimate of the volume of the simplicial complex $K$. Note that in combination with a given accuracy of the ANN $\varepsilon$ expressed in terms of the modulus of continuity $\omega_R(\delta)$ , we obtain the condition

$$\varepsilon\approx\omega_R\left(\frac{(n+1)\mathrm{vol}(K)}{N}\right) \quad .$$

In particular, for a smooth mapping $R$ the error of approximation function $R_F$ on the complex is proportional to the value $N^{-1}$. However, in most practical problems there is no reasonable a priori information about the modulus of continuity $\omega_R$ , which leads to the possibility of gross approximation errors when intuitively choosing the volume $N$ of the training set $\tilde{R}_N$ . It is clear that for these reasons there is no universal simplicial ANN for a given volume $N$ of the training set $\tilde{R}_N$ . It is reasonable to formulate the problem of the accuracy of simplicial ANNs on classes of continuous mappings depending on a priori information about the $\omega_R(\delta)$ .

Note also that, due to the monotonic increase $\omega_R(\delta)$ , the dimension $n$ of the argument space $x\in K$ has a significant impact on the approximation error. This is important for big dimension input data $n\gg 1$ , in particular, this situation is typical when processing video information and pattern recognition. It should be emphasized that the effectiveness of the considered ANN is due to the fact that the "predicted" value of the function $R(x)$ is provided by the "environment" of a point $x$ inside a simplex $T\in K$ of a sufficiently small diameter $\delta$, at the vertices of which training values from $R_N$ are set, which, due to linear interpolation, extend to the point. At the same time, its barycentric coordinates $\{\mu_i\}$ are exactly the weighting coefficients of the connections in the simplicial ANN corresponding to Fig. 1. Naturally, due to the above design features, the construction of the ANN of such type cannot be applicable with reasonable accuracy to problems of forecast in points, which go

beyond the boundaries of the complex (extrapolation). For these purposes, it is necessary to consider training sets on broader complexes $K' \supset K$, which undoubtedly requires expert assessments performed by a Person. Academician P.L.Chebyshev, when considering the problem of the polynomial least deviating from zero, solved the problem of minimizing the interpolation error of a given class of functions due to the location of interpolation nodes among the roots of Chebyshev's polynomials [8]. Obviously, this serves as a starting point for a wide class of studies on optimizing the selection of training sets for building an ANNs. The most important aspect of the practical application of ANNs is a significant reduction in the volume of the training set. In this way, effective solutions are associated with the application of the procedure of sequential averaging of approximations based on Great Numbers Law, which gives a significant acceleration of the convergence of partial sums in the theory of trigonometric Fourier series [9]. A similar effect is associated with Mazur's Theorem [1], which allows using the averaging procedure to turn weakly converging sequences into strongly converging ones. A similar phenomenon occurs in Richardson's method of accelerating convergence of difference schemes on coarse grids [11].

Note that the so-called multilayer ANNs are a superposition of several simplicial ANNs, in which feedbacks can also be implemented, etc. The issues of their decomposition, accuracy, efficiency are currently, at least, the field of engineering computational experiments.

An important point for future studies of the mathematical nature of ANN is the search for topological invariants (homotopy groups) associated with them and the search for equivalence conditions of the structure of various mathematical models implementing ANNs.

The proposed construction of the above-mentioned simplicial ANN, like most publications on the development of ANNs based on a mnemonic scheme (Fig. 1), is ideologically related to the works of A.N.Kolmogorov and V.I.Arnold [13] on the representation of continuous functions. In 1957, they proved a Theorem (directly related to D. Hilbert's 13th problem) that any continuous function of many variables can be represented as a superposition of addition operations and a finite set of functions of one variable.

ANNs based on data interpolation are exceptional and convenient from the point of view of their detailed research, theoretical analysis, since a minimum of optimizing functional leads to precisely solved problems on which fundamentally important problems of construction and functioning of ANNs can be investigated.

In practice, the dimension of the input data space is significantly larger than the dimension of the output data. Typical use of ANN is aimed at "compressing" the processed stream of large volumes of input data in order to classify them, recognize objects, video and acoustic information, etc.

The procedure for compressing large amounts of data we consider as the action

of a compact continuous operator $R$ in a Hilbert space $H$, i.e. $R:H\to H$ . Accordingly, the procedure of "compressing" input information under the action of the operator $R$ interpreted as the fact that bounded sets of input Big Data $x$ from an infinite-dimensional Hilbert space $H$ transformed by the ANN into pre-compact subsets of output data $y\in H$ (almost finite sets, i.e. well approximated by finite ε–networks). The tasks of pattern recognition and their classification can be formulated as finding a solution to the inverse problem

$$R(x)=y \tag{4}$$

with given data $y\in H$ lying in the pre-compact set. Essential for this class of problems is Baire category Theorem [9]. The central problem for finding solutions to the inverse problem (4) with a compact continuous operator $R$ on a Hilbert space $H$ is either the absence of a solution to Equation (4) (i.e., there exists $y\in H$ when we have no solutions to Equation (4)), or the absence of the continuity property of the inverse operator $R^{-1}$ on the image $R(H)\subset H$ - it is the fundamental computational instability of solutions to problem (4).

**Theorem 1**, [10]. *Let* $R:H_1\to H_2$ *be a continuous compact mapping on Hilbert spaces* $H_1, H_2$ . *Let the inverse mapping* $R^{-1}:R(H_1)\to H_1$ *defined on the image* $R(H_1)\subset H_2$ . *Then the set of points* $y\in H_2$ *for which there is no solution to the Equation is everywhere dense in* $H_2$ , *and the operator* $R^{-1}:R(H_1)\to H_1$ *is not continuous in any open ball in the induced metric by the space* $H_2$ *on the image* $R(H_1)$ .

Note that for linear operators $R$ satisfying the conditions of this Theorem, the absence of continuity in the inverse operator $R^{-1}$ takes place at every point of the image $R(H_1)\subset H_2$ [11]. Since this phenomenon is true for everywhere dense in the set of output data $y\in R(H_1)$ , processing of Big Data streams based on the ANN for the purpose of classification and recognition of input data , based on solving problem (4) with a compact operator, is always an ill-posed problem. Therefore, stable approximation of the solution additionally requires the use of regularization methods [17]. In particular, this phenomenon is typical for hardware digital data processing based on frequency filtering of signals with suppression of the high-frequency component of the input signal $x\in H_1=L_2[a,b]$ .

Thus, classes of problems based on the use of ANN as a means of approximating mappings and constructing solutions to inverse problems with a compact operator reveal a common mathematical property – computational instability when processing large data arrays. These problems are also similar for the tasks of "restoring" images by "digital twins", since they have the same mathematical nature.

***ANN models and fixed-point problems.*** The construction of the ANN model can be considered as the problem (2) of finding a fixed-point $\bar{x}(\bar{x}=f(\bar{x}))$ for some mapping $f:M\to M$ on a data set $M\supset X\cup Y$. The choice of mapping *f* is called the ANN layer. In essence, the construction of an ANN layer is a stage in the construction of a multilayer ANN consisting of consistently applied transformations $f_n:M\to M$ – layers that are consistently modified by the user to achieve some "optimal, ideal for the user" result. The desired result is a fixed-point of some limit transformation $f=\lim_{n\to\infty} f_n$. In many cases, the search process of $\bar{x}$ is based on considering a sequence of iterations

$$x_{n+1}=f_n(x_n) \quad . \tag{5}$$

Often, with specific implementations of multilayer ANN, the layers are chosen to be the same, i.e. iterations $f_n\equiv f$. This approach to the creation of multilayer ANN, generally speaking, may not converge. A.N.Sharkovsky discovered dynamic chaos for one-dimensional iterations $x_{n+1}=f_n(x_n)$ [19].

Thus, the construction of a chain of ANN layers should be subject to modifications that guarantee the convergence of iterations. Algorithms with such properties are considered below.

**Theorem 2**, [22]. *Let (M, ρ) be a complete metric space on which a sequence of uniformly compressing operators acts*

$$f_n:M\to M\,,\ n\in\mathbb{N} \tag{6}$$

*that is, contraction constant for* $f_n$ *do not exceed the value* $0\le q<1$. *Let the sequence of fixed points* $\bar{x}_n,\ n\in\mathbb{N}$, *for mappings* $f_n$ *converge to some point* $\bar{x}\in M$. *Then the point* $\bar{x}$ *can be found as the limit of iterations*

$$x_{n+1}=f_{n+1}(x_n),\ n=0,1,\ldots\ , \tag{7}$$

*where the starting point* $x_0\in M$ *is chosen arbitrarily.*

***Remark.*** A sufficient condition for the convergence of points $\bar{x}_n$ is the pointwise convergence of mappins $f_n$ on *M*.

The above Theorem is related to the construction of systems with an unique solution. Practical tasks of classification and pattern recognition are associated with establishing the correspondence of incoming data to one of the many objects, each of which is associated with a fixed-point of a multilayer ANN. That is, for such mappings, a fixed-point is not the only one, therefore, one of the most important aspects of creating stable multilayer ANN is the construction of algorithms that stabilize the limiting behavior of iterations (7), while rejecting the requirement of Theorem 2 associated with the property of uniform contraction. In particular, the chaotic behavior of sequences (5), (6) is due to the presence of a subset where the mapping (6) is quite strongly stretching. A fairly wide class of mappings has a similar property, which, of course, includes experimentally created ANNs. This behavior is typical for hyperbolic dynamical systems [21].

These phenomena are associated with the general property the behavior

instability of high-frequency harmonics for the decomposition of mappings into a Fourier series, namely, to high-frequency basis functions corresponds large stretching coefficients that generate chaotic behavior of iterations (5).

**Theorem 3**, [22]. *Let a continuous mapping f on* $\mathbb{R}_n$ *maps a bounded closed ball M into itself. Let the sequence of iterations* (7) *be determined by the formulas*

$$x_n = f\left(\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1} x_i\right) \ . \qquad (8)$$

*Assume that there exists a limit of arithmetic averages* $\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1} x_i$ *almost everywhere. Then the sequence of iterations* (8) *converges to a fixed point* $\bar{x}$ *of the mapping* $f : M \to M$ *for almost all initial points.*

Thus, algorithms (8) can be used as a basis for creating classes of stable convergent ANNs.

The fundamental question of the convergence of arithmetic $\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1} x_i$ means is open. It is meaningfully solved within the framework of the Birkhoff–Khinchin ergodic theorem [23] for measure-preserving mappings $f : M \to M$ . The authors' computational experiments demonstrate the reliability and computational stability of algorithm (8) for a wide class of continuous mappings of a ball into itself.

***Fixed points of maps on ordered spaces (monotonic convergence of iterations).*** A promising direction for constructing and substantiating the convergence of algorithms (2) for the hierarchy of ANN that make up the structure of AI is the application of fixed-point theorems on locally convex and ordered spaces related to the works of A.N.Tikhonov, Ju. P. Schauder and A.Tarski [1]. These theorems make it possible to built constructive convergent algorithms to the smallest (largest) fixed-point in many practical problems for ANN based on order-preserving continuous mappings. In particular, this statement has deep applications in the formal semantics of programming languages (in an abstract interpretation – the theory of approximation of the semantics of computer languages associated with the names P. and R.Kuzo [25]).

***Immersion methods and the use of ANNs for solving problems of continuum mechanics.***

It should be emphasized that, in a sense, the theory of computational methods for linear problems is the most adapted to the ANN technology, developed and universal. Therefore, from this point of view, the procedures of "immersion" of nonlinear problems into general linear classes by changing the initial dimension of the description and expanding the functional spaces are important [26].

The above-mentioned immersion of nonlinear systems into linear dynamics can

be implemented in a universal way within the framework of the concept of functional solutions for quasi-linear systems based on the Young's embedding of Sobolev generalized solutions into the space of linear functionals equipped with Tikhonov topology [27, 28].

Note that the condition of weak stability [27, 28] is by its nature much simpler than the concept of stability in the theory of difference schemes for nonlinear problems, it reflects the "correct" reproduction of the basic conservation laws. Therefore, the proposed method of immersion of nonlinear conservation laws into linear problems on the space of functional solutions equipped with the topology of A.N.Tikhonov has a universal computational character, implemented within the framework of locally convex ANNs corresponding to the mnemonic diagram in Fig. 1. This is due to the fact that the definition of a functional solution naturally extends to a minimal convex set containing functional solutions for the given initial data of the integral form of the Cauchy problem.

### *1. 關於人工智慧技術數學論證的必要性*

人工智慧技術通常被理解為人工神經網絡，本質上是從某個集合（有限維或無限維）中的有限數據集構造映射函數的近似值的技術將這個集合轉化為給定的有限維集合，服從某個泛函的最小化。 有限維集的這種近似的收斂性和穩定性是 A.N. 的定理。 吉洪諾夫論有序有界集映射的不動點。 A.N.對該定理的應用 Tikhonov 和 是「數位大師」類型人工智慧成功的數學理由，該人工智慧由該人工智慧的作者構建，是映射數千個遊戲的有限有序集的函數的近似值由真正的大師將一場比賽分成有限的一組，但盡量減少與獲勝的距離。從本質上講，「數位特級大師」是一個谷歌搜尋引擎，基於真正的特級大師所玩的有限遊戲集，並由該人工智慧的作者補充，並提供了遊戲接近獲勝的指標。 ChatGPT（也是 Google 搜尋引擎的類似物）在由真實作者（也是大數據）的數以萬計、數十萬篇書面作品組成的有限有序集合上取得成功的數學論證，並由該作者的作者進行了補充用書面作品的各個片段與給定片段的接近程度來度量聊天是完全相似的。 在無限維空間的情況下，例如在影像辨識和分類中，經驗方法構造的緊映射近似從根本上來說是不穩定的，如第 2 節所示。

### *2. 創建人工神經網路 (ANN) 問題的數學表述*

用於解決各種實際問題的人工神經網路的大量半經驗工程描述通常可歸結為以下兩個相關的數學問題：

a）對於給定的一組實驗點（X，Y），「得出一個定律－最優插值映射」R：X→Y。

b) 對於建構的映射 R，求方程式的解

$$R(x)=c. \tag{1}$$

方程式(1)的根集 $x(c)=R^{-1}(c)$（水平集 c）用於對 ANN 輸入資料 x(c)進行「分類」。 在大多數典型問題中，方程式（1）可以被視為尋找某個映射 f:M $\rightarrow$M 的不動點的問題

$$\bar{x}=f(\bar{x}) \tag{2}$$

在關於模式識別、聲音、視訊和文字資訊處理的大量計算實驗中，找到了創建軟體的方法，以實際解決許多難以形式化的問題 a)、b) 和 (1)、(2)。 這些成功引發了大量的工作和興趣，人們對創建稱為人工神經網路 (ANN) 的半經驗方法產生了興趣。

建立人工神經網路的一般方法是接受這樣的假設：創建一個可以透過一系列範例進行訓練以做出決策的設備。 這種模糊的表述假設選定的對象對之間存在某種聯繫 $(x,y)\in X\times Y$ ，這些聯繫定義了某種關係 $R\subset X\times Y$ （假設定律）[1]。 通常假設 R 是函數（ $x\in X$ 即每個值恰好對應一個值 $y\in X$ ），參數 X 稱為原因，值集合 Y 稱為結果。 簡單地說，人工神經網路是一個有向圖形式的分散式資訊處理的平行系統，其中圖的頂點稱為處理元素（人工神經元），它們之間的連接稱為連接。 因此，人工神經網路是一個圖——一個透過連結連接並相互交換輸入輸出資料的節點系統（例如，請參見圖 1）。

建立 ANN 的目的。 設定 ANN（類似 ANN 結構自動編程的過程）包括選擇一系列人工神經元（轉換，如圖 1 所示，在頂點處以圖示 $\Theta_1$、$\Theta_2$、...、$\Theta_n$ 表示）圖表的）和係數 $w_{i,j}$ 根據附加聲明的原則（例如，最佳化）沿著連接頂點的線乘以變換量的值。 訓練範例集構成給定的子集 $\tilde{R}\subset R$ , 其中比率 R 是先驗未知的。 從某種意義上說，創建 ANN 的目標是基於給定的「訓練」集「最優地重建」未知關係 R。 從本質上講，這種問題的表述是不正確的，因為其解決方案具有顯著的多樣性（“學校”數學上不正確的問題，即找到連接給定點集的曲線）。

因此，建構 ANN 的必要元素是引入目標規則（準則、函數等）F，基於該規則的應用，給定關係與關係 $R_F$ 的「最佳」延續，該關係近似於 R（例如，透過一組參數最小化函數 F）。 我們將 $R_F$ 稱為實現 ANN 的數學模型。 所描述的方案通常用於建構函數的連續性，特別是在插值問題中。

「學習」一詞在數學上意味著什麼？ 「訓練」過程是調整激活函數 $\Theta k$ 的權重 $w_k$ 的過程，以減少所需（目標）和結果輸出向量之間的某些給定度量中的「距離」。 最終，這是合成變換 R 問題的解決方案，其中在給定的一組「訓練」對 (x, y) 上滿足關係 y=R(x)。 權重 $w_k$ 和激活函數 $\Theta_k$ 是相對於給定功能（度量）的先驗選擇的最佳化過程來找到的。

函數 F 在參數集 $x=(x_1,x_2,...,x_n)\in D\subset \mathbb{R}_n$ 上的值的近似計算理論的典

型表述包括從給定的函數集 $\tilde{R}(x,w_1,w_2,...,w_k)\approx R(x)$ 中選擇最佳多參數近似，其中 $(w_1,w_2,...,w_k)$ 是參數集，透過該參數集進行上述最佳化。 例如，對於給定的參數值 $\tilde{x}^{(l)}\in D, l=1,2,...,N$ ，假設 $F(w_1,w_2,...,w_k)=max_{1\le l\le N}\|\tilde{R}(\tilde{x}^{(l)},w_1,w_2,...,w_k)-\tilde{y}^{(l)}\|$ 對處於給定的 $(\tilde{x}^{(l)}\tilde{y}^{(l)}), 1\le l\le N$ 關係中，則需要 $\tilde{R}$ 範數的最小偏差。

這種方法對於預測、迴歸和插值多項式的建構問題來說是典型的[2]。 如果最小偏差的條件意味著 $\tilde{y}^{(l)}=R(\tilde{x}^{(l)})=\tilde{R}(\tilde{x}^{(l)},w_1,w_2,...,w_k), 1\le l\le N,$ 的值一致，那麼這種構造近似的方法稱為內插（在這種情況下，最佳點處的目標函數 $F(w_1,w_2,...,w_k)$ 取最小值等於 0）。 請注意，函數 F 的確定可以根據專家對一組 Y 值的度量（距離）選擇的評估以不同的方式進行，這些 Y 值確定要解決的問題的目標。 在自然科學、經濟學中規劃實驗時，在建構模式辨識演算法時，在解決物體分類反問題時，在設計控制系統、導引、瞄準、導航等時，都會出現這種問題。 [2]。

基於多變量多項式構建 ANN 的問題本質上與通過相應泰勒級數的部分和來逼近足夠平滑的映射有關，這需要計算訓練集上未知函數的導數的估計。 這導致需要求解具有近似給定右側的第一類卷積類型的 Volterra (Fredholm) 積分方程式。 事實上，這種方法是流行名稱「卷積人工神經網路」的基礎。 請注意，可求函數空間上的第一類 Fredholm 方程式是一個典型的病態問題，具有明顯的計算不穩定性，可以使用 A.N. Tikhonov [17] 的正則化方法來克服。

***穩定性和收斂性的基本問題。*** 讓我們注意與所考慮的範例相關的更一般的人工神經網路的重要概念。

1. ANN 記憶體容量，由訓練集大小決定

$$\tilde{R}_N=\{(\tilde{x}^{(1)},\tilde{y}^{(1)}),(\tilde{x}^{(2)},\tilde{y}^{(2)}),...,(\tilde{x}^{(N)},\tilde{y}^{(N)})\}$$

2. 人工神經網路在逼近給定類別近似關係時的準確性 R. 設定目標的可實現性。

3.基於給定演算法 F 的 ANN 學習速度。

4. 人工神經網路在重新配置其結構方面的「靈活性」（即動態改變人工神經元 Θi 的功能集、選擇權重係數 wi 的規則、改變訓練集等）。

5. 人工神經網路的效能。

6.當輸入資料變化時，所得輸出資料的穩定性。

7. 人工神經元計算程序的可行性及其可靠性。

8. 人工神經網路的精確度和速度對其尺寸的依賴性。

9. 在運作期間自動減少 ANN 尺寸以優化其特性的可能性。

10. ANN 的容錯性、功能冗餘性和抗雜訊性。

11.透過基於合併它們的圖和相互資料交換來擴展結構來與其他人工神經網

路相容。

12. ANN 結構的拓樸不變量和不同 ANN 實現的同倫等價。

請注意，第 11 條的內容指的是由各種性質的 ANN 組成的複合體，可以將其描述為人工智慧 (AI) 系統的近似。 因此，在未來，透過人工智慧技術，我們可以根據人類智力在該集合上先驗引入的順序關係來理解互連人工神經網路的有序層次結構。 顯然，透過這種方法，人工智慧是自然（人類）智慧工作的衍生物。

根據哥德爾定理，在任何一致的形式系統中，用該系統的語言，都有可能連同其否定一起表述出不可推導的命題，即形式系統是不完備的。 為了解決不確定性，有必要將該陳述或其否定添加到所考慮的正式系統的公理中。 對於圖靈機來說，這意味著它外部存在一個更智慧開發的系統，該系統每次都需要選擇將哪個新公理添加到正式系統中，並根據這個選擇來修正圖靈機的演算法。 這樣的智慧系統可以形成一個日益複雜和全面的系統層次結構，而人們處於頂層。 對這種層次結構的需求源自於萊文海姆-斯科勒姆定理，該定理指出，任何公理系統都允許比創建時假設的更多顯著不同的解釋。 公理沒有對解釋或模型設定限制，因此校正者－人－的存在是必要的。 萊文海姆-斯科勒姆定理適用的公理系統旨在指定一種非常具體的解釋，並且適用於完全不同的模型，因此它們不符合其目的。 綜上所述，人工神經網路和深度學習方法的突破為反映人類外圍功能的問題提供了解決方案。 人工神經網路尚未重現思考、計畫行動（「行為」控制）、邏輯「推理」和抽象思考的過程。 這些過程將以某種方式透過將各種人工智慧方法（不僅是神經網路方法）與模擬建模相結合來重現[18]。

上述用於建構 ANN 和相應分層人工智慧系統的插值思想的自然發展是在邏輯變數空間中進行插值，以及在與哥德爾和 Löwenheim-Skolem 定理相關的邏輯推理有序結構上應用最佳化程序。

大數據以及基於它們訓練人工神經網路的有效性。 至於訓練集 $\tilde{R}_N$ 的數量無限增加時 ANN 的準確性出現的問題，K.D.T.Runge [3] 和 S.N.Bernstein [4] 的例子針對插值多項式的數量無限增加插值節點在這裡是指示性的。

Runge、Bernstein 的例子和 Faber 的一般結果表明了一種深刻的誤解，即 ANN 中神經元的無限增長和構成訓練集 $\tilde{R}_N$ 基礎的大量數據 $N \gg 1$（大數據）可以確保其在人工智能框架內的有效性。 這同樣適用於許多關於透過不斷增長的 $\tilde{R}_N = \{(\tilde{x}^{(1)}, \tilde{y}^{(1)}), (\tilde{x}^{(2)}, \tilde{y}^{(2)}), \ldots, (\tilde{x}^{(N)}, \tilde{y}^{(N)})\}$ 訓練資料集來建構所謂「數位雙胞胎」的說法。

這些評論涉及在增加訓練集數量時分析人工神經網路的計算穩定性的一般

基本問題，以及因此建立在交互人工神經網路複合體上的人工智慧系統的可行性和安全適用性的限制。

我們強調經典的 Weierstrass 定理 [5] 關於緊集上連續函數空間中多項式集合的密度，允許人們斷言基於多項式構造的收斂 ANN 的存在，但 Faber 定理也是如此作為 K.D.T 的例子。 Runge 和 S.N. Bernstein 指出，使用基於滿足條件 (3) 的多項式和訓練集 $\tilde{R}_N$ 和 $N \gg 1$ 建構的 ANN 時存在重大錯誤的風險。

值得注意的是，單純緊複形上多維連續映射的單純近似具有明確定義的 ANN 結構（我們稱之為單純 ANN），如圖 1 所示。 Compacta 上單純複形[7]的重心細分過程與它們上映射的一致連續性相結合，使我們能夠聲明，由此構建的單純 ANN RF 均勻收斂於 Compacta 上的 R，其直徑為 $\delta_N > 0$ 個重心細分複數趨於零：

$$\|R_F - R\|_C \to 0, N \to \infty, \delta_N \to 0$$

我們強調，對於任意連續映射 R，複數 K 上的單純 ANN 的收斂速度由連續性模 $\omega_R(\delta) = \sup_{\|u-v\| \le \delta} \|R(u) - R(v)\|_{C(K)}, \delta > 0$ 決定。很容易驗證單純複數 K 上的近似 $\|R_F - R\|_C$ 的誤差，它是一個緊複數 $\mathbb{R}_n$ 中的值從上方以值 $\omega_R(\delta)$ 為界，其中 $\delta > 0$ 為複數 K=D 中單純形直徑的精確上限，其上值為中的值的映射 R。 事實上，對於單純複形 K 中包含的每個單純形 T，以下公式成立：

$$R_F(x) = \sum_{i=0}^{n} \mu_i R(a_i),\ x = \sum_{i=0}^{n} \mu_i a_i \in T,\ \mu_i \ge 0,\ \sum_{i=1}^{n} \mu_i = 1,$$

其中 $\mu_i$ 是由頂點 $a_i, 0 \le i \le n$ 跨越的單純形 T 中點 x 的重心座標，n 是單純形 T 的尺寸。因此，由於單純形 T 的直徑不超過 $\delta > 0$ ，則

$$\|R(x) - R_F(x)\|_{\mathbb{R}_m} \le \sum_{i=0}^{n} \mu_i \|R(x) - R_F(a_i)\|_{\mathbb{R}_m} \le \omega_R(\delta) \ .$$

因此，我們獲得了單純 ANN $N \le (n+1)\mathrm{vol}(K)\delta^{-1}$ 的訓練集 $\tilde{R}_N$ 的體積 N 的上限估計，其中 vol(K) 是單純複形 K 的體積估計。請注意，結合 ANN 的給定精度ε，透過連續模表示，我們得到條件

$$\varepsilon \approx \omega_R\left(\frac{(n+1)\mathrm{vol}(K)}{N}\right) \ .$$

特別地，對於平滑映射 R，複數 K 上的近似 RF 的誤差與 N-1 的值成比例。然而，在大多數實際問題中，沒有關於連續性模 $\omega_R$ 的合理先驗信息，這導致在直觀地選擇訓練集 $\tilde{R}_N$ 的體積 N 時可能出現粗近似誤差。顯然，由於這

些原因，存在對於訓練集 $\tilde{R}_N$ 的給定體積 N，沒有普遍準確的單純 ANN。根據有關連續性模 $\omega_R(\delta)$ 的先驗信息，在連續映射類上提出單純 ANN 的準確性問題是合理的。

還要注意的是，由於 $\omega_R(\delta)$ 的單調遞增， $x \in K$ 的自變數空間的維數 n 對公式（6）中的逼近誤差的大小有顯著的影響，這對於大維 $n \gg 1$ 的輸入資料很重要，特別是，這種情況在處理視訊資訊和模式識別時很典型。

應該強調的是，所考慮的 ANN 的有效性是由於函數 R(x) 的「預測」值是由直徑相當小的單純形 $T \in K$ 內的點 x 的「包圍」來確保的δ，在其頂點指定來自 RN 的訓練值，由於線性內插，這些訓練值被分佈到點 x。 同時，它的重心座標 $\{\mu_i\}$ 正是圖 1 對應的單純人工神經網路中連接的權重係數。當然，根據人工神經網路的構造，由於給定的設計特點，它根本不能用於公式化從準確性的角度來看合理的預測問題，超出了複雜 K 的邊界（外推法）。 為此，有必要考慮更廣泛的 $K' \supset K$ 複合體的訓練集，這無疑需要由人類進行專家評估。

P.L. Chebyshev 在考慮偏離零最少的多項式問題時，透過沿著 Chebyshev 多項式的根定位插值節點來解決最小化給定類函數的插值誤差的問題 [8]。 顯然，這是優化選擇用於建立人工神經網路的訓練集的廣泛研究的起點。

ANN 實際應用中最重要的方面是訓練集大小 N 的顯著減少。 在此路徑上，有效的解與使用基於 ZBC（P.L. 切比雪夫大數定律）的近似值的順序平均過程相關，這顯著加速了三角傅立葉級數理論中部分和的收斂[9] 。 類似的效果與 Mazur 定理 [1] 相關，該定理允許透過平均過程將弱收斂序列轉換為強收斂序列。 類似的現像出現在用於加速粗網格上差分格式收斂的 Richardson 方法中 [11]。

注意，所謂的多層 ANN 是幾個簡單 ANN 的疊加，其中還可以實現反饋連接等。 它們的分解、準確性和效率問題目前在很大程度上是工程計算實驗的領域。

未來研究人工神經網路數學本質的一個重要點是尋找相關的拓樸不變量（同倫群）以及尋找實現人工神經網路的各種數學模型的結構等價的條件。

與大多數關於基於助記圖的 ANN 開發的出版物一樣，所提出的構建上述簡單 ANN 的設計（圖 1）在思想上與 A.N. 的作品相關。 科爾莫哥洛夫和 V.I. Arnold [13]關於連續函數的表示。 1957 年，他們證明了一個定理（與 D.希爾伯特的第 13 個問題直接相關）：任何多個變數的連續函數都可以表示為加法運算和一個變數的有限函數集的疊加。

從詳細研究和理論分析的角度來看，基於資料插值的人工神經網路是特殊且方便的，因為最小的最佳化功能導致精確可解決的問題，可以在這些問題上研究人工神經網路的構造和操作的根本重要問題。

實際上，輸入資料空間的維度明顯大於輸出資料的維度。 ANN 的典型用途是「壓縮」大量輸入資料的處理流，以用於分類、物件辨識、視訊和聲音資訊等。

壓縮大量資料的過程可以被視為希爾伯特空間 H 中緊緻連續算子 R 的作用，即 $R:H\to H$ .因此，在算子 R 的作用下對輸入資訊進行「壓縮」的過程可以解釋為無限維希爾伯特空間 H 中有限的大數據輸入數據集被 ANN 變換為預輸出數據 $y\in H$ 的緊湊子集（幾乎有限集，即非常近似的有限ε 網路）。 模式識別問題及其分類問題可以表述為尋找 $x\in H$ 逆問題的解

$$R(x)=y \tag{4}$$

基於所獲得的數據 $y\in H$ ，位於預緊集中。 此類問題的本質是貝爾定理 [9]，即不可能將完整的度量空間表示為無處非稠密子集的可數並集。 在希爾伯特空間 H 上使用緊緻連續算子 R 尋找反問題 (4) 的解的核心問題是缺少方程式 (4) 的解（即，並非對於所有值都有解）方程式(4)) ，或影像 $R(H)\subset H$ 上的逆算子 R-1 缺乏連續性- 問題(4) 的解的基本計算不穩定性。

定理 1，[10]。 令 $R:H_1\to H_2$ 為希爾伯特空間 $H_1,H_2$ 上的連續緊映射。令逆映射 $R^{-1}:R(H_1)\to H_1$ 定義在 $R(H_1)\subset H_2$ 的圖像上。則等式 (4) 無解的點集 $y\in H_2$ 在 $H_2$ 中處處稠密，並且算子 $R^{-1}:R(H_1)\to H_1$ 在由在圖像 $R(H_1)$ 上的空間 $H_2$ 引起的度量中的任何開球中都不連續。

注意，對於滿足該定理條件的線性算子 R，逆算子 $R^{-1}$ 在圖 $R(H_1)\subset H_2$ [11] 的每個點缺乏連續性。 由於這種現像在整個密集的輸出資料集 $y\in R(H_1)$ 中都是成立的，因此基於使用緊湊算子 R 解決問題 (4) 來分類和識別輸入資料 x 的基於 ANN 的大資料流處理始終是一個不適定問題並獲得穩定的近似解 x 另外需要使用正規化方法[17]。 特別地，這種現象對於基於訊號頻率濾波並抑制輸入訊號 $x\in H_1=L_2[a,b]$ 的高頻成分的硬體數位資料處理是典型的。

因此，基於使用 ANN 作為逼近映射和使用緊湊算子構建反問題解決方案的方法的問題類別表現出共同的數學特性 - 處理大量數據時的計算不穩定。 這些問題也類似於從「數位孿生」中「恢復」影像的問題，因為它們具有相同的數學性質。

***ANN 模型和不動點問題***。 ANN 模型的建構可以被視為問題（2），即為資料集 $M\supset X\cup Y$ 上的某些映射 $f:M\to M$ 找到不動點 $\bar{x}(\bar{x}=f(\bar{x}))$ 。映射 f 的選擇將稱為 ANN 層。 本質上，ANN 層的建構是多層 ANN 建構的一個階段，由 $f_n:M\to M$ 層的順序應用變換組成，使用者依序修改這些變換以實現一些「對使用者而言最佳的、理想的」結果。 期望的結果是某個極

限變換 $f=\lim_{n\to\infty} f_n$ 的不動點。在許多情況下，尋找 $\bar{x}$ 的過程是基於考慮迭代序列

$$x_{n+1}=f_n(x_n) \tag{5}$$

通常，在多層人工神經網路的具體實現中，選擇的層是相同的，即 迭代 $f_n\equiv f$ 。一般來說，這種創建多層 ANN 的方法可能不會收斂。 A.N. Sharkovsky 發現了一維迭代的動態混沌 $x_{n+1}=f_n(x_n)$ [19]。

因此，人工神經網路層鏈的建構必須進行修改，以確保迭代的收斂。

下面討論具有這些屬性的演算法。

定理 2，[22]。 設 (M, ρ) 為等壓算符序列作用於其上的完備度量空間

$$f_n: M\to M, n\in\mathbb{N} \tag{6}$$

即， $f_n$ 的壓縮常數不超過值 0≤q<1。 讓一連串固定點 $\bar{x}_n, n\in\mathbb{N}$ ，映射 $f_n$ 收斂到某點 $\bar{x}\in M$ 。然後可以找到點 $\bar{x}$ 作為迭代的極限

$$x_{n+1}=f_{n+1}(x_n), n=0,1,\ldots , \tag{7}$$

其中起點 $x_0\in M$ 是任意選擇的。

評論。 點 $\bar{x}_n$ 收斂的充分條件是映射 $f_n$ 到 M 的逐點收斂。

上述定理與具有唯一解的系統的構造有關。 分類和模式識別的實際問題與建立傳入資料與許多物件之一的對應關係相關，每個物件都與多層人工神經網路的一個固定點相關聯。 也就是說，對於此類映射，不動點不是唯一的，因此創建穩定的多層 ANN 最重要的方面之一是構建穩定迭代極限行為的演算法(7)，同時放棄與以下相關的定理 2 的要求均勻壓縮的性質。 特別是，序列 (5)、(6) 的混沌行為是由於存在映射 (6) 相當有彈性的子集。 一類相當廣泛的映射具有相似的屬性，其中自然包括透過實驗創建的人工神經網路。 這種行為對於雙曲動態系統來說是典型的[21]。

與這些現象相關的是映射的傅立葉級數展開的高頻諧波行為的不穩定性的一般特性，即大量基底函數對應於大拉伸係數，這會產生迭代的混沌行為（5）。

定理 3，[22]。 讓 f 到 $\mathbb{R}_n$ 的連續映射使有界閉球 M 不變。讓迭代序列 (7) 由下列公式定義

$$x_n=f\left(\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1} x_i\right) \tag{8}$$

假設幾乎處處都存在算術平均值 $\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1} x_i$ 的極限，則對於幾乎所有初始點 $x_0\in M$ ，迭代序列 (8) 都收斂到映射 $f: M\to M$ 的不動點 $\bar{x}$ 。

因此，演算法（8）可以用作創建穩定收斂 ANN 類別的基礎。

算術平均值收斂的基本問題 $\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1} x_i$ 是開放的，它已經在保測映射 $f:M\to M$ 的 Birkhoff-Khinchin 遍歷定理 [23] 的框架內得到了有意義的解決。 作者的計算實驗證明了演算法（8）對於球到自身的一系列連續映射的可靠性和計算穩定性。

有序空間上映射的不動點（迭代的單調收斂）。 建構和證明構成人工智慧結構的 ANN 層次結構的演算法 (2) 收斂性的一個有希望的方向是使用與 A.N. Tikhonov, Yu 的作品相關的局部凸和有序空間上的不動點定理。紹德和 A. 塔斯基[1] 。 這些定理允許在基於保序連續映射的 ANN 的許多實際問題中構造收斂到最小（最大）不動點的構造性演算法。 特別是，這個陳述在程式語言的形式語意學中有著深入的應用（在抽象解釋中－電腦語言語意的近似理論，與 P. 和 R. Couso 的名字相關[25]）。

解決連續介質力學問題的浸入法和人工神經網路的應用。 需要強調的是，從某種意義上來說，人工神經網路技術最發達、最普遍的理論是線性問題的計算方法理論。 因此，從這個角度來看，透過改變描述的初始維度和擴展函數空間來將非線性問題「沉浸」到一般類別的線性問題中的過程是很重要的 [26]。

上述非線性系統在線性動力學中的浸入可以在基於 Sobolev 廣義解的楊嵌入到配備吉洪諾夫拓撲的線性泛函空間的擬線性系統泛函解概念的框架內普遍實現 [27, 28 ] 。

需要注意的是，弱穩定性條件[27, 28]本質上比非線性問題差分格式理論中的穩定性概念簡單得多；它反映了基本守恆定律的「正確」再現。 因此，所提出的將非線性守恆定律嵌入到配備 A.N. Tikhonov 拓撲的函數解空間上的線性問題中的方法具有通用計算性質，在與圖 1 中的助記圖相對應的局部凸 ANN 框架內實現。 1. 這是因為函數解的定義自然地擴展到包含柯西問題積分形式的給定初始資料的函數解的最小凸包。

***Литература*** ***References*** **參考書目**

1. Данфорд Н., Шварц Дж.Т. Линейные операторы. Общая теория. Т.1. М., ИЛ, 1962.

2. Бахвалов Н.С. Численные методы, М., Наука, 1973.

3. Runge K. Über empirische funktionen und die interpolation zwischen äquidistanten ordinaten, Zeitschrift für Matematik und Physik, 1901, Bd. 46, S. 224-243.

4. Бернштейн С.Н. Собрание сочинений. Т. 1— 4, М., 1952—1964.

5. Дзядык В.К. Введение в теорию равномерного приближения функций полиномами. М., Наука, 1977.

6. Калиткин Н.Н. Численные методы, М., Наука, 1988.

7. Александров П.С., Пасынков Б.А. Введение в теорию размерности. М.:,Наука, 1973.

8. Берёзин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. М., ГИФМЛ, 1962.

9. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. М.: Наука, 1972.

10. Бетелин В.Б., Галкин В.А. Математические задачи, связанные с искусственным интеллектом и искусственными нейронными сетями, Успехи кибернетики, 2021, №4, С. 6-14.

11. Николаев Е.С., Самарский А.А. Выбор итерационных параметров в методе Ричардсона, ЖВМ и МФ, Т. 12, 1972, с. 960 - 973.

12. Бетелин В.Б., Галкин В.А., Дубовик А.О. Точные решения системы Навье–Стокса для несжимаемой жидкости в случае задач, связанных с нефтегазовой отраслью, Доклады Российской Академии наук. Математика, информатика, процессы управления, 2020, Т. 495, с. 13–16.

13. Колмогоров А.Н. О представлении непрерывных функций нескольких переменных в виде суперпозиций непрерывных функций одного переменного и сложения, ДАН СССР, 1957, Т.114, №5, с. 953 – 956.

14. Hecht-Nielsen R. Kolmogorov's mapping neural network existence theorem, In Proceeding of the International Conference on Neural Networks, (In Eng.) (III, 11-14). 1987, NewYork: IEEE Press.

15. Funahashi K. On the Approximate Realization of Continuous Mappings by Neural Networks, Neural Networks Vol. 2, Issue 3, 1989, P. 183-192.

16. Cybenko G. Approximation by superposition of a sigmoidal function // Math. Control, Signals and Systems. 1989, V. 2, P. 303 - 314.

17. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач, М., Наука, 1986.

18. Бетелин В.Б., Галкин В.А., Дубовик А.О. Некоторые математические аспекты проблемы построения искусственных нейронных сетей, Успехи кибернетики. 2021;2(3): С. 19-22.

19. Крянев А.В. и др. Метрический анализ и обработка данных.

20. Ly T.Y., Yorke J.A. Period three implies chaos// Amer. Math. Monthly, 1975, V. 82, P. 982–985.

21. Аносов Д. В. Геодезические потоки на компактных римановых многообразиях, Труды Математического института им. В.А. Стеклова, вып. 90, № 1, 1967, с. 1– 235.

22. Александров П.С., Пасынков Б.А. Введение в теорию размерности. М., Наука, 1973.

23. Каток А.Б., Хасселблат Б. Введение в теорию динамических систем с обзором последних достижений, Пер. с англ. Под ред. А.С.Городецкого. М., МЦНМО, 2005. ISBN 5-94057-063-1.

24. Бетелин В. Б., Галкин В. А. О неподвижных точках непрерывных преобразований, связанных с построением искусственных нейронных сетей, Доклады Российской академии наук. Математика, информатика, процессы управления, 2022, т. 507, С. 22–25.

25. Кузо П., Кузо Р. Абстрактная интерпретация: унифицированная решетчатая модель для статического анализа путём построения или аппроксимации неподвижных точек, Протокол конференции 4-го симпозиума ACM по принципам языков программирования. PDF. Лос-Анджелес, Калифорния, США. 1977. ACM Press. P. 238 – 252.

26. Бетелин В. Б., Галкин В. А. Математические и вычислительные проблемы, связанные с образованием структур в сложных системах, Компьютерные исследования и моделирование, 2022, т. 14, вып. 4, С. 805 - 815.

27. Галкин В. А. Теория функциональных решений квазилинейных систем законов сохранения, Труды семинара имени И.Г.Петровского, 2000, вып. 20, С. 81–120.

28. Galkin V.A. Background of mathematical models, based on conservation laws systems, Industrial Mathematics, Narosa Publishing House, 2006, New Delhi, India. P. 159–178.

DOI 10.18699/sblai2023-59
УДК 164.07

# *Логика творчества — трансмерные отношения*

# *The logic of creativity as transdimensional relationships*

# *創造力作為跨維度關係的邏輯*

А. А. Кобляков
Московская государственная консерватория имени П.И.Чайковского,
Москва, Россия,
*Moscow State Conservatory named after P.I. Tchaikovsky, Moscow, Russia,*
*莫斯科國立柴可夫斯基音樂學院，莫斯科，俄羅斯，*
*akoblyakov@list.ru*

***Аннотация***. В статье показана необходимость отношений нового типа—трансмерных отношений: они отображают в рационально-логической форме особенности творческого процесса, уточняют внутреннюю структуру Целого, возникновение нового качества в целом, отсутствующее в его частях, причину и устранение логических парадоксов. Трансмерные отношения позволяют однокорневым образом объяснить направленность основных эволюционных векторов и связанное с этим структурное усложнение материи, а также ряд других явлений.

***Ключевые слова***: творчество, музыка, трансмерные отношения, логика, язык, искусственный интеллект, униология.

***Annotation.*** The article shows the need for a new type of relationship—transdimensional relationships: they reflect in a rational-logical form the features of the creative process, clarify the internal structure of the Whole, the emergence of a new quality as a whole that is absent in its parts, the cause and elimination of logical paradoxes. Transdimensional relationships make it possible to explain in a single-root manner the direction of the main evolutionary vectors and the associated structural complication of matter, as well as a number of other phenomena.

***Keywords:*** creativity, music, transdimensional relations, logic, language, artificial intelligence, uniology.

***註解***。 文章展示了對一種新型關係——跨維度關係的需求：它們以理性邏輯的形式反映了創作過程的特徵，闡明了整體的內部結構，出現了一種整體上不存在的新品質。在其各部分中，邏輯悖論的原因和消除。 跨維度關係使得以單根方式解釋主要演化向量的方向和相關的物質結構複雜性以及許多其他現象成為可能。

***關鍵字***：創造力、音樂、跨維度關係、邏輯、語言、人工智慧、統一學。

## *Введение*

Способность человека к творчеству - одна из самых волнующих загадок Бытия. «Из всех тайн мира самая главная тайна—тайна творчества» (С. Цвейг).

В современной науке необходимость рациональных моделей творческого процесса еще более возросла в связи с созданием искусственного интеллекта (ИИ), имитирующего деятельность человеческого («естественного») интеллекта (ЕИ). Становится ясным, что проблемы ИИ —это проблемы в познании нашего собственного ЕИ. Мы не можем наделить ЭВМ тем, что не понимаем сами, в частности, способностью к творчеству. Встает вопрос: если полная формализация творческого процесса невозможна, вероятно, в принципе, то, может быть, возможно *рациональное представление его логической компоненты—«логики творчества»?* Пока, насколько нам известно, таких моделей нет. Очевидно, в современном естественно-научном знании отсутствует какой-то важный тип отношений, определяющий саму логическую суть, рациональную специфику творческого процесса. И тут возможна помощь со стороны гуманитарного знания, в первую очередь — музыки. Исследуя музыкальное произведение, мы обнаружили именно такой тип отношений, ответственный как за рационально-логическую сторону творчества, так и за *новые ресурсы познания в целом*! Мы их назвали «трансмерными отношениями» или «трансмерностью».

### *От дизъюнкции к конъюнкции (А. Уайтхед)*

Творчество можно определять по-разному. Начнем с интеллектуального определения: «Творчество есть процесс решения проблемы с рождением нового качества, нового результата» (26, *6*; см. также 4, *164*-192). Но что значит «новое качество»? Как оно возникает? В науке нет ответа на это. Логическое определение дал А. Уайтхед в книге «Процесс и реальность» (1929г.): суть творчества «состоит в переходе от дизъюнкции к конъюнкции, образовании новой сущности, отличной от данной в дизъюнкции» (цит.по 20, *17*). Но что значит «новая сущность»? Поясним, что дизъюнкция и конъюнкция – логические связки; переход от дизъюнкции к конъюнкции в логике означает переход от разделительного высказывания (союз «или») к соединительному (союз «и»), т. е. от противопоставления (разделения) свойств, процессов, явлений к их синтезу (соединению, ср. «яблоко *или* груша?»—дизъюнкция; «гибрид яблоко *и* груша»— конъюнкция). Поскольку Уайтхед считает творчество «предельным метафизическим принципом» и «наиболее универсальной из универсальных сущностей» (цит. по 20, *17*), то и переход от дизъюнкции к конъюнкции следует понимать как универсалию (в масштабе знаменитой эволюционной триады «теза-антитеза-синтез»). В свете этого можно дополнить начальное определение творчества логической формулой Уайтхеда: творчество есть процесс решения проблемы через переход от дизъюнкции к конъюнкции с рождением нового качества, нового результата (все тот же синтез антитез, образующий некую «новую сущность»). Но если

именно в этом переходе заключена логическая суть творчества, то как же происходит переход дизъюнкции в конъюнкцию, оппозиции в дополнительность? Каким образом антитезы объединяются в синтез антитез? Как в Целом возникает новое качество, отсутствующее в частях?

### *Трансмерные переходы в музыке*

Как происходит синтез антитез в простейшей форме музыкального высказывания – одноголосной мелодии (монодии)? Возьмем старинную европейскую монодию (*пример 1*). Хорошо известно, что этот и подобные ему напевы имеют опоры двух типов – верхний и нижний устои («финалис» и «реперкусса», см. *пример 2*). В исходной ситуации финалис и реперкусса звучат последовательно и противопоставлены как дизъюнкция (конкурирующие устои, диахрон). С возникновением гиполадов функции финалиса и реперкуссы расширяются так, что каждый из них приобретает свойства антагониста: финалис ставится срединным звуком («реперкуссой»), а реперкусса – нижним («финалисом», см. *прим. 3*). Эта «мена ролей» – очень важная фаза синтеза, в которой оппозиции «обратно совмещаются», приобретая свойства друг друга, т. е. становятся дополнительностями.

Следующий этап – их объединение, неочевидное творческое решение: тот же самый напев звучит теперь и от тона финалиса, и от тона реперкуссы ОДНОВРЕМЕННО (см. *прим. 4*). Тем самым разрешилось исходное (проблемное) противоречие: кто «главнее» – финалис или реперкусса? ОБА стали равностатусными: дополняя друг друга, они слились в *одновременно* звучащую гармоническую кварту (квинту). Мелодия *удвоилась*: от каждого звука опорной кварты (квинты) звучит та же самая мелодия! Дизъюнкция перешла в конъюнкцию, возник, так называемый, «стиль Органум» (X век). Состоялся глобальный (в историческом смысле) переход от одноголосия к двухголосию, важнейший в эволюции мировой музыки. Что же произошло в этот момент с музыкальным пространством, с позиции которого мы рассматриваем все музыкальные процессы и явления?

Произошел переход от *одномерного* пространства (единицы которого – разновременно звучащие звуки (диахрон) к *двумерному*, единица которого – интервал (два *одновременно* звучащих звука, синхрон). (Размерностью пространства (системы, элемента) мы называем число степеней свободы пространства (системы, элемента), допускающее как геометрическую, так и параметрическую интерпретацию – так, например, звук фиксируется одной точкой в пространстве (=одномерие), интервал – двумя (=двумерие), аккорд-трезвучие – тремя (=трехмерие) и т.д.).

В нашем примере именно выход в двумерие (в новое измерение!) и дал новое качество, новый параметр в образовавшемся целом, а именно качество

звучания в одновременности – то, что, разумеется, не могло быть в одномерии (одноголосии). Произошел переход дизъюнкции в конъюнкцию, в результате которого возникло двумерное целое с новым качеством, отсутствующим в его исходных (одномерных) частях. Итак, новое измерение — новый параметр — новое качество в целом, отсутствующее в его частях. Дальнейшие исследования показали, что вся история музыки – цепь подобных переходов (см. прим. 4, 5, 6). Так, следующий исторический этап – переход в трехмерное музыкальное пространство, XVII в. – происходил по той же схеме. Фундаментальной проблемой двумерного интервального пространства было противоречие между квинтой и терцией (исходная дизъюнкция). В стиле «Органум» квинта – преобладающий интервал (вертикаль – параллельное движение квинтами). Терция – на периферии музыкального пространства («диссонанс»). После смены музыкального строя (от пифагорова к чистому) произошла «мена ролей»: терция постепенно становится консонансом и «перехватывает» лидерство у квинты (эпоха «строгого стиля», XVв., вертикаль – параллельное движение терциями, запрет на параллельные квинты). После этого «борьба» квинты и терции завершилась их синтезом (конъюнкцией) – в новом темперированном строе возникла новая единица уже *трехмерного* музыкального пространства – аккорд-трезвучие (прим. 5, начало XVII в.) как одновременное (вертикальное) *единство* терции и квинты. Началась эпоха гомофонно-гармонической музыки, сменившая предыдущую (полифоническую) эпоху модального многоголосия. Наконец, следующий переход от дизъюнкции к конъюнкции в начале XX века: объединение конкурирующих (суб)-аккордов и (суб)-тональных систем в *полиаккордику, политональность и полигармонию*; вновь *синтез антитез дал выход в новое измерение музыкального пространства,* единицей которого становится уже не аккорд, а *полиаккорд* (см. прим. 6, некоторые виды знаменитых полиаккордов).

Теперь понятна специфика перехода от дизъюнкции к конъюнкции: это переход особого рода – из состояния меньшей размерности в состояние большей размерности. Каждый раз именно новая степень свободы дает возможность оппозициям внутри дизъюнкции стать дополнительностями внутри конъюнкции. Такая нетривиальная особенность этого перехода требует зафиксировать его отдельным термином. Назовем данный переход «трансмерным переходом» (от лат. trans – «сквозь», «через» (измерения), сокращенно TDt – от англ. «transdimensional transition. Трансмерный переход (*transdimentional transition,* TDt) – переход из пространства одной размерности в пространство другой размерности. (Следует сразу оговориться, что, вообще, необходимо различать трансмерный переход двух типов: переход от меньшей размерности к большей и наоборот. Первый вариант естественно интерпретируется как "положительный трансмерный переход" (+TDt), второй — как отрицательный (-TDt). В дальнейшем под "трансмерным переходом" мы

будем понимать (кроме специально оговоренных случаев ) только переход от меньшей размерности к большей, т.е. +TDt).

Сейчас мы можем уточнить формулу творчества Уайтхеда: «Творчество есть *положительный трансмерный переход* от дизъюнкции к конъюнкции с образованием нового качества, нового результата». Новое измерение = новое качество! При этом «разрешение исходного противоречия через синтез антитез возможно только в метапространстве относительно исходного, т. е. только путем трансмерного перехода в пространство большей размерности» (так формулируется наша ***теорема о трансмерном переходе*** (8, *57*-61), в которой доказывается непротиворечивость этого утверждения на топологическом дискурсе).

### *Трансмерные отношения*

Теперь можно понять, что было причиной предыдущих неудач в попытке рационального описания синтеза антитез: неучет разноразмерных отношений. Конъюнкция находится в большей размерности, чем дизъюнкция, синтез – чем антитезы! Вот простой пример: дана дизъюнкция «круг *или* квадрат?»; конъюнкция этих оппозиций возможна только через переход из плоскости в объем — возникает цилиндр, одна проекция которого — круг, другая — квадрат. Именно новая размерность позволяет зафиксировать новое качество (новый параметр), отсутствующий в исходной дизъюнкции.

Этот вывод открывает возможность определить и исследовать особый тип отношений внутри Целого, связанный с разноразмерностью составляющих его субпространств. При таком подходе трансмерный переход есть всего лишь важный частный случай новых отношений — в нашей терминологии, «трансмерных отношений» или «трансмерности» (от лат. trans – «сквозь», «через» (размерности); англ. вариант – transdimensionalism, сокращенно TD).

ТРАНСМЕРНОСТЬЮ *мы называем весь комплекс отношений между субпространствами разных размерностей внутри многомерного целого, как то: вложения, взаимоотражения-проекции, свертки-развертки, связи между измерениями, переходы из одной размерности в другую и т. д.* (некоторые виды трансмерных отношений см. пример7).

Любая форма существует в виде структуры и в виде процесса. Трансмерный переход — ключевая особенность творчества как процесса. А что есть творчество как структура? Здесь нам понадобится другой важный случай трансмерных отношений – «полиразмерность» («polydimensionality», сокращенно PD – одновременную принадлежность объекта пространствам разной размерности (пример 7). В самом деле, если конъюнкция находится в ином измерении, чем дизъюнкция, при этом они состоят из одних и тех же элементов и представляют собой единую структуру, значит, каждый элемент

этих логических связок полиразмерен, PD=1D:2D. Неучет полиразмерности приводит к логическим парадоксам.

### *Универсальная Логика Творчества (УЛТ)*

Теперь промоделируем вышеизложенное в логических терминах. Синтез новых отношений с формулой Уайтхеда мы взяли в качестве основы универсальной Логики Творчества:

Пусть общее алгебраическое пространство U универсальной логики есть совокупность субпространства L (условно "левого", left) и субпространства R (условно "правого", right). Тогда алгебры этих подпространств будут именоваться, соответственно, L-алгеброй и R-алгеброй. Алгебра левого подпространства (L-алгебра) образует множество M всех подмножеств S1, S2, S3... с их элементами A, B, C... . В каждом из S1, S2, S3... определены две бинарные операции (сложение ($\vee$) и умножение ($\wedge$), обладающие следующими свойствами

для всех A, B, C… из S

(1) S содержит $A \vee B$ и $A \wedge B$ (замкнутось)

(2) $A \vee B = B \vee A$, $A \wedge B = B \wedge A$ (коммутативность)

(3) $A \vee (B \vee C) = (A \vee B) \vee C$ (ассоциативность)

$A \wedge (B \wedge C) = (A \wedge B) \wedge$

(4) $A \wedge (B \vee C) = A \wedge B \vee A \wedge C$ (дистрибутивность)

$A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge (A \vee C)$

(5.l) $A \vee \overline{A} = I$

L-алгебра имеет двойник-антитезу: обратную $\overline{L}$ -алгебру такую, что $L \vee \overline{L} = I$ (дизъюнкция, оппозиция). Их пересечение образует правую алгебру R, такую, что $L \wedge \overline{L} = I$ (конъюнкция, взаимодополнение). Двустороннюю связь между субпространствами осуществляет *трансмерный оператор (TD-op), повышающий или понижающий размерность.* Алгебры L и $\overline{L}$ по отдельности булевы, а их пересечение в целом не булево.

Соответственно, R-алгебра в целом тоже не булева. Так, все законы (l)-(4) в ней могут выполняться или не выполняться в зависимости от контекста. Поэтому в правой алгебре вводится специальный модальный оператор— квантор уместности App (от “appropriateness” — уместность), такой, что любое условие (выражение) в R выполняется (т. е, является истинным) только при наличии этого квантора. Например, $App(\forall x(S(x) \rightarrow P(c)))$ : уместно, что все S суть P и т. д.

Квантор уместности App выполняет роль фильтра (лимитирующего критерия), отделяющего левую область — область действия законов однозначно определенной «логической грамматики» от правой области, в которой ослаблены или отсутствуют эти законы (области совмещения двух

разных «логических грамматик», нейтрализующих друг друга). Для правой алгебры в целом не выполняется свойство (5.1) (дизъюнкция); его место занимает свойство (5.2), интерпретируемое как единство противоположностей (конъюнкция):

$$A \wedge \bar{A} = I \quad . \qquad (5.2)$$

Обратим внимание, что в формулах (5.1) и (5.2) “одно и тоже А” разной размерности! В (5.1) — 1D, в (5.2) — 2D. Чтобы отличить А в дизъюнкции от А в конъюнкции мы вводим *трансмерные индексы*: A1d (свойство 5.1) и A 2d (свойство 5.2), фиксируя А по-разному в разных контекстах, избегая тем самым двусмысленностей и парадоксов (см., далее, пример с парадоксом Рассела).

Учет контекста в «правой» алгебре приводит, например, к нарушению (ослаблению) законов тождества и идемпотентности. «Тот же самый» элемент, в зависимости от контекста, может обладать прямо противоположными («частица есть волна») или ослабленными («частица в каком-то смысле есть та же самая частица») свойствами. Соответственно, «точно» повторенное высказывание может нести иной (прямо противоположный) смысл в зависимости от контектса (ситуации, интонации), то есть не быть тавтологией. При этом степени свободы этих алгебр разные, так как каждый «правый» элемент характеризуется сразу по двум алгебраическим системам, а не по одной как «левый» элемент. В целом образуется полиразмерная алгебраическая метасистема, объединяющая классическую и неклассическую логики в одном представлении. Следствием разноразмерности алгебр являются характерные ослабления классических свойств («булевости») в «правой» алгебре. Поскольку «левые» (прямая и обратная) алгебры равноправны, независимы и «изнутри» неразличимы по аксиомам, обе они представляют один тип логики — формальную логику классического типа. «Правая» же алгебра представляет другой, неклассический тип логики, накрывающий (благодаря квантору уместности) множество ее существующих разновидностей (релевантная, модальная, паранепротиворечивая, квантовая, многозначная и т.д.).

### *Закон-вектор творческого процесса*

Трансмерные отношения — важная, на наш взгляд, особенность предлагаемой логики, имеющая целый ряд следствий. Весь творческий процесс представим теперь как векторное движение от системы с меньшей размерностью к системе с большей размерностью, что позволяет сформулировать следующий «закон-вектор творческого процесса»: «Любой творческий процесс направлен в сторону больших размерностей, больших степеней свободы».

### *Основной закон-вектор эволюции*

Поскольку любая эволюция может быть описана в интегративном ключе ( ведь формула “теза-антитеза-синтез” — тот же переход от дизъюнкции к конъюнкции), то можно считать закон-вектор творческого процесса одновременно и основным законом эволюции в такой его переформулировке: “Любая эволюция направлена в сторону больших размерностей, больших степеней свободы”. Структурное усложнение материи в процессе развития — результат действия этого закона.Таким образом, закон-вектор эволюции акцентирует еще одно, особое качество мира, не оцененное пока в полной мере: мир состоит не только из разномасштабных, но и разноразмерных объектов (систем); размерность— наиболее важная характеристика любых структурных уровней любого Целого, позволяющая фиксировать переход от простого к сложному, от части к целому. Целое всегда находится в высшем измерении относительно части! Целое описывается R-алгеброй относительно части (L-алгебры) и членится не только на части и элементы, но и на вложенные субпространства (проекции-измерения), связанные трансмерными отношениями.

### *Направленность основных мировых векторов*

Интересные, на наш взгляд, результаты дает экстраполяция УЛТ на эволюцию в целом. Например, мы получаем закон возрастания энтропии «из первых рук» как следствие функционирования самого цикла (возрастание степеней свободы = возрастание сложности = возрастание неопределенности). Так же все фундаментальные асимметрии эволюции естественно, на наш взгляд, вытекают из УЛТ — само развитие мира глобально есть переход из L-пространства в R-пространство, что детерминирует направленность основных мировых векторов: энтропийного (к большей неопределенности), эволюционного (к большей сложности), временного (от прошлого к будущему), психологического (от реального к возможному). Тем самым возникает возможность однокорневого объяснения направленности основных мировых векторов.

### *Трансмерность (полиразмерность) в мышлении и языке*

Использование трансмерных отношений открывает новые ресурсы в понимании самих основ языка и мышления— бинарных оппозиций. Выясняется, что оппозиции бывают простыми и сложными (с контекстно-зависимым членом), и сложные оппозиции – полиразмерны! Сравним простую оппозицию с противопоставлением («черное—белое») со сложной оппозицией

с отрицанием («черное—нечерное»). В простой оппозиции оба члена диады определены однозначно (т.е.одномерны); в сложной—полиразмерны: однозначное «черное» противопоставлено многозначному «нечерному» как элемент и матрица, PD =1:2. К сложным оппозициям относятся не только диады с отрицаниями, но и с рефлексивным членом (стимул – реакция), вторичным действием (вибратор – резонатор), синтезом в одной из частей (лошадь – всадник) и т. д. Все это – примеры полиразмерности PD типа 1D:2D или «трансмерной асимметрии», что имеет важные логические следствия: аконтекстные понятия отделяются теперь от контекстных через разную размерность (разную трансмерную индексацию — см. выше); становится возможным разграничение объектного языка от метаязыка.

### *Логические парадоксы*

С учетом полиразмерности многие классические парадоксы перестают быть парадоксами. Например, «парадокс брадобрея» (Б. Рассел): все жители деревни одномерны (либо умеют, либо не умеют бриться), а брадобрей – в высшем измерении: он способен и сам бриться, и бреет других! Указ царя не учитывает двумерность брадобрея, что и создает парадокс! (То же – парадоксы «Я лгу», «Я сплю» и т. д.). Полиразмерность позволяет фиксировать такие пограничные состояния, делая вариабельным само понятие принадлежности. Чтобы уточнить контекст необходимы трансмерные индексы (см. выше). Учет трансмерности многомерных логических пространств через *трансмерную индексацию* устраняет парадоксы в принципе (а не вуалирует их, как в иерархии типов высказывания Рассела).

### *Некоторые результаты использования трансмерных отношений*

Выше была показана необходимость трансмерных отношений: они отображают в рационально-логической форме особенности творческого процесса, уточняют внутреннюю структуру Целого, возникновение нового качества в целом, отсутствующее в его частях, причину и устранение логических парадоксов, позволяют однокорневым образом объяснить направленность основных эволюционных векторов и связанное с этим структурное усложнение материи и т.д. Необходимость трансмерных отношений, на наш взгляд, очевидна. Но почему до сих пор их не было в научном тезаурусе?

### *Письменная культура редуцирует трансмерные отношения*

Огромную роль в том, что эти столь важные отношения были скрыты до

сих пор от глаз исследователей, сыграла письменная культура (текст). Плоскость (листа) и запись на ней текста в строчку не позволяют фиксировать разноразмерные структуры! Будь это диады с отрицанием, синтезом, вторичным действием, сложные и рефлексивные оппозиции — и т. д., и т. п. — все они записываются в однородную линейную цепочку. Мы записали триаду «теза-антитеза-синтез» как одномерную линейную структуру, хотя синтез находится в другой размерности относительно тезы! Тоже самое – линейная запись перехода от дизъюнкции к конъюнкции; она не фиксирует разноразмерность крайних точек этого перехода, что мы уже неоднократно отмечали.

Вся «соль» шутки или анекдота— в двусмысленности, двумерности ключевого слова, но письмо скрывает эту разноразмерность; хотя мысленно мы ее востанавливаем, но не понимаем всей значимости этого явления. Письменная культура в традиционном ее виде не способна фиксировать трансмерные отношения! Ее основа – текст – по определению линеен и однонаправлен, скрывая тем самым разноразмерность (трансмерность!) составляющих его элементов. Но ведь на самом деле письмо – лишь отражение нашего мышления, значит, речь идет о неполноте нашего мышления в целом! И трансмерность – ресурс, способный устранить эту неполноту. Выход из «плена линейности» — в новом трансмерном переходе: так, например, компьютерные технологии позволяют  осуществить перевод текста в гипертекст, осваивается передача объемной информации 3D, печать на 3D-принтере и т.д. Все это имеет значение и для теории ИИ: ведь пока все программы пишутся без учета трансмерных отношений, т. е. без «глубины»!

### *ИИ, творчество, униология*

Отрицание — предпосылка творчества, ведь, именно отрицание лежит в основе противоречия, «запускающего» творческий процесс. Это создает фундаментальные трудности при моделировании творчества традиционными алгоритмическими программами — ведь в них двойственность и противоречия отсутствуют в принципе! Необходима логика творчества! С другой стороны, выход в творчество через отрицание создает риск самостоятельности и в будущем неповиновения ИИ творцу – человеку. Здесь мы должны определить «красную черту», ограничивающую машинную свободу. Другая проблема — коммуникативная (язык). Неоднозначность, двусмысленность, контекстуальные значения создают большую трудность для понимания человека машиной. Как было сказано выше, для этого необходимы трансмерные индексы — язык будущего. К сожалению, многое, чем пользуется человек, не отрефлексировано им самим в рациональной форме — как же это «неосознаваемое знание» передать ЭВМ? И насколько можно доверять ИИ (а сейчас выясняется — нашему собственному ЕИ)? Итак, *для формирования творческого мышления у*

*ИИ необходима новая «Логика Творчества», сочетающая классическую и неклассические логики в одном полиразмерном представлении (PD).* Для практической реализации этой концепции предполагается использование модифицированных квантовых компьютеров, оснащенных полиразмерной логикой и трансмерными отношениями.

Как мы уже отмечали, трансмерные отношения подчеркивают глубинную связь между творчеством и эволюцией. И там и там самое главное — сама *возможность* развития, ее степени свободы, ее размерность и связи между измерениями. И творчество и эволюцию можно представить как глобальный положительный трансмерный переход в высшую размерность. Трудно переоценить роль размерности в познании мира, однако до сих пор общей теории размерности в науке нет.

Впереди — совместные поиски ученых разных специальностей, параллельная работа целых отрядов междисциплинариев, выработка языка междисциплинарного общения — что в конечном счете приведет, как мы надеемся, к создание новой супернауки («Униологии» в нашей терминологии). Если все существующие науки рассматривают мир по частям, то Униология – как единое целое, грандиозный творческий акт синтеза, происходящий в разном материале по одной и тоже схеме – «от дизъюнкции к конъюнкции»!

## *Introduction*

Human creativity is one of the most exciting mysteries of Genesis. “Of all the secrets of the world, the most important secret is the secret of creativity” (S. Zweig). In modern science, the need for rational models of the creative process has increased even more in connection with the creation of artificial intelligence (AI), which imitates the activities of human (“natural”) intelligence (AI). It becomes clear that the problems of AI are problems in the knowledge of our own AI. We cannot endow a computer with what we ourselves do not understand, in particular, the ability to create. The question arises: if complete formalization of the creative process is probably impossible in principle, then perhaps a rational representation of its logical component—the “logic of creativity”—is possible? So far, as far as we know, there are no such models. Obviously, in modern natural scientific knowledge there is no important type of relationship that determines the very logical essence, the rational specificity of the creative process. And here help from the humanities, primarily music, is possible. While studying a piece of music, we discovered exactly this type of relationship, which is responsible both for the rational-logical side of creativity and for new cognitive resources in general! We called them “transdimensional relations” or “transdimensionality”.

## *From disjunction to conjunction (A. Whitehead)*

Creativity can be defined in different ways. Let's start with an intellectual definition: “Creativity is the process of solving a problem with the birth of a new quality, a new result” (26, 6; see also 4, 164-192). But what does “new quality” mean? How does it arise? Science has no answer to this. A logical definition was given by A. Whitehead in the book “Process and Reality” (1929): the essence of creativity “consists in the transition from disjunction to conjunction, the formation of a new essence different from that given in the disjunction” (cited on 20, 17). But what does “new entity” mean? Let us explain that disjunction and conjunction are logical connectives; the transition from disjunction to conjunction in logic means a transition from a dividing statement (the conjunction “or”) to a connecting one (the conjunction “and”), i.e., from the opposition (separation) of properties, processes, phenomena to their synthesis (conjunction, cf. “ apple or pear?”—disjunction; “hybrid apple and pear”—conjunction). Since Whitehead considers creativity to be the “ultimate metaphysical principle” and “the most universal of universal essences” (cited on 20, 17), then the transition from disjunction to conjunction should be understood as a universal (on the scale of the famous evolutionary triad “thesis-antithesis-synthesis” ). In light of this, we can supplement the initial definition of creativity with Whitehead’s logical formula: creativity is the process of solving a problem through the transition from disjunction to conjunction with the birth of a new quality, a new result (the same synthesis of antitheses, forming a certain “new essence”). But if it is precisely this transition that contains the logical essence of creativity, then how does the transition from disjunction to conjunction, opposition to complementarity occur? How are antitheses combined into a synthesis of antitheses? How does a new quality arise in the Whole that is absent in the parts?

## *Transdimensional transitions in music*

How does the synthesis of antitheses occur in the simplest form of a musical statement - a single-voice melody (monody)? Let's take the ancient European monody (example 1). It is well known that this and similar tunes have two types of supports - upper and lower pillars (“finalis” and “repercussa”, see example 2). In the initial situation, the finalis and repercussion sound sequentially and are opposed as a disjunction (competing foundations, diachron). With the emergence of hypolades, the functions of the finalis and repercussa expand so that each of them acquires the properties of an antagonist: the finalis is placed by the middle sound (“repercussa”), and the repercussa by the bottom (“finalis”, see note 3). This “reversal of roles” is a very important phase of synthesis, in which the oppositions are “recombined”, acquiring each other’s properties, that is, they become complementarities.

The next stage is their unification, a non-obvious creative solution: the same tune now sounds from both the tone of the finalis and the tone of the repercussion AT THE SAME TIME (see note 4). Thus, the original (problematic) contradiction was resolved: who is “more important” – the finalis or the repercussion? BOTH became equal in status: complementing each other, they merged into a simultaneously sounding harmonic fourth (fifth). The melody has doubled: from each sound of the reference fourth (fifth) the same melody sounds! Disjunction turned into conjunction, and the so-called “Organum style” arose (10th century). A global (in the historical sense) transition from one-voice to two-voice took place, the most important in the evolution of world music. What happened at this moment to the musical space, from the position of which we consider all musical processes and phenomena?

There has been a transition from one-dimensional space (the units of which are sounds sounding at different times (diachron) to two-dimensional space, the unit of which is the interval (two simultaneously sounding sounds, synchronicity). (We call the dimension of space (system, element) the number of degrees of freedom of space (system, element) , allowing both geometric and parametric interpretation - for example, sound is fixed by one point in space (= one-dimensionality), an interval by two (= two-dimensionality), a chord-triad by three (= three-dimensionality), etc.).

In our example, it was the exit to two-dimensionality (to a new dimension!) that gave a new quality, a new parameter in the resulting whole, namely the quality of sound in simultaneity - something that, of course, could not exist in one-dimensionality (monophony). There was a transition from disjunction to conjunction, as a result of which a two-dimensional whole arose with a new quality that was absent in its original (one-dimensional) parts. So, a new dimension - a new parameter - a new quality as a whole, absent in its parts. Further research showed that the entire history of music is a chain of similar transitions (see notes 4, 5, 6). So, the next historical stage is the transition to three-dimensional musical space, the 17th century. - followed the same pattern. The fundamental problem of two-dimensional intervallic space was the contradiction between the fifth and the third (the original disjunction). In the “Organum” style, the fifth is the predominant interval (vertical is the parallel movement of fifths). Third – on the periphery of musical space (“dissonance”). After a change in the musical system (from Pythagorean to pure), a “change of roles” occurred: the third gradually becomes a consonance and “seizes” the leadership from the fifth (the era of the “strict style”, 15th century, vertical - parallel movement of thirds, ban on parallel fifths). After this, the “struggle” of the fifth and third ended with their synthesis (conjunction) - in the new tempered system, a new unit of already three-dimensional musical space arose - a chord-triad (note 5, early 17th century) as a simultaneous (vertical) unity of third and fifth. The era of homophonic-harmonic music began, replacing the previous (polyphonic) era of modal polyphony. Finally, the next transition from disjunction to conjunction at the beginning of the twentieth century: the unification of competing (sub)-chords and (sub)-tonal systems into

polychordics, polytonality and polyharmony; again, the synthesis of antitheses gave access to a new dimension of musical space, the unit of which is no longer a chord, but a polychord (see note 6, some types of famous polychords).

Now the specifics of the transition from disjunction to conjunction are clear: this is a transition of a special kind - from a state of lower dimension to a state of higher dimension. Each time, it is the new degree of freedom that makes it possible for oppositions within a disjunction to become complementarities within a conjunction. Such a non-trivial feature of this transition requires fixing it with a separate term. Let's call this transition a "transdimensional transition" (from the Latin trans - "through", "through" (dimensions), abbreviated TDt - from the English "transdimensional transition. Transdimensional transition (TDt) - a transition from a space of one dimension to a space another dimension. (It should be noted right away that, in general, it is necessary to distinguish between two types of transdimensional transition: a transition from a lower dimension to a larger one and vice versa. The first option is naturally interpreted as a “positive transdimensional transition” (+TDt), the second - as a negative one (-TDt In what follows, by “transdimensional transition” we will understand (except for specially stated cases) only the transition from a lower dimension to a larger one, i.e. +TDt).

Now we can clarify Whitehead’s formula of creativity: “Creativity is a positive transdimensional transition from disjunction to conjunction with the formation of a new quality, a new result.” New dimension = new quality! At the same time, “the resolution of the original contradiction through the synthesis of antitheses is possible only in a metaspace relative to the original one, i.e., only through a transdimensional transition to a space of higher dimension” (this is how our theorem on the transdimensional transition is formulated (8, 57-61), which proves the consistency of this statements on topological discourse).

### *Transdimensional relationships*

Now we can understand what was the reason for previous failures in the attempt to rationally describe the synthesis of antitheses: failure to take into account different dimensional relationships. Conjunction is in a higher dimension than disjunction, synthesis - than antitheses! Here is a simple example: given the disjunction “circle or square?”; the conjunction of these oppositions is possible only through the transition from plane to volume - a cylinder appears, one projection of which is a circle, the other is a square. It is the new dimension that allows us to fix a new quality (a new parameter) that is missing in the original disjunction.

This conclusion opens up the possibility of defining and exploring a special type of relationship within the Whole, associated with the different dimensions of its constituent subspaces. With this approach, a transdimensional transition is just an important special case of new relations - in our terminology, “transdimensional

relations" or "transdimensionality" (from the Latin trans - "through", "through" (dimensions); English version - transdimensionalism, abbreviated TD).

TRANSDIMENSIONALITY we call the whole complex of relations between subspaces of different dimensions within a multidimensional whole, such as: embeddings, mutual reflection-projections, convolution-unfolding, connections between dimensions, transitions from one dimension to another, etc. (for some types of transdimensional relations, see example 7 ).

Any form exists as a structure and as a process. Transdimensional transition is a key feature of creativity as a process. What is creativity as a structure? Here we will need another important case of transdimensional relations - "polydimensionality" ("polydimensionality", abbreviated PD - the simultaneous belonging of an object to spaces of different dimensions (example 7). Indeed, if the conjunction is in a different dimension than the disjunction, they consist of the same elements and represent a single structure, which means that each element of these logical connectives is polydimensional, PD = 1D: 2D. Failure to take polydimensionality into account leads to logical paradoxes.

## *Universal Logic of Creativity (ULC)*

Now let's model the above in logical terms. We took the synthesis of new relationships with Whitehead's formula as the basis of the universal Logic of Creativity:

Let the general algebraic space U of universal logic be a set of subspace L (conditionally "left", left) and subspace R (conditionally "right", right). Then the algebras of these subspaces will be called, respectively, L-algebra and R-algebra. The algebra of the left subspace (L-algebra) forms the set M of all subsets S1, S2, S3... with their elements A, B, C.... In each of S1, S2, S3... two binary operations are defined (addition ($\vee$) and multiplication ($\wedge$), which have the following properties for all A, B, C... from S

(1) S contains $A \vee B$ and $A \wedge B$ (closed)

(2) $A \vee B = B \vee A$, $A \wedge B = B \wedge A$ (commutativity)

(3) $A \vee (B \vee C) = (A \vee B) \vee C$ (associativity)

$A \wedge (B \wedge C) = (A \wedge B) \wedge$

(4) $A \wedge (B \vee C) = A \wedge B \vee A \wedge C$ (distributivity)

$A \vee (B \wedge C) = (A \vee B) \wedge (A \vee C)$

(5.l) $A \vee \bar{A} = I$

L-algebra has an antithesis double: an inverse $\bar{L}$ -algebra such that $L \vee \bar{L}$ = I (disjunction, opposition). Their intersection forms a right algebra R such that $L \wedge \bar{L}$ = I (conjunction, complement). Two-way communication between subspaces is carried out by a transdimensional operator (TD-op), which increases or decreases the dimension. The algebras L and $\bar{L}$ are individually Boolean, but their

intersection as a whole is not Boolean.

Accordingly, R-algebra as a whole is also not Boolean. Thus, all laws (l)-(4) in it may or may not be fulfilled depending on the context. Therefore, in right algebra, a special modal operator is introduced - the appropriateness quantifier App (from "appropriateness" - relevance), such that any condition (expression) in R is satisfied (i.e., is true) only in the presence of this quantifier. For example: $App(\forall x(S(x) \rightarrow P(c)))$ it is appropriate that all S are P, etc.

The appropriateness quantifier App acts as a filter (limiting criterion) separating the left region—the area of action of the laws of a uniquely defined "logical grammar"—from the right region, in which these laws are weakened or absent (the area of combining two different "logical grammars" that neutralize each other). For the right algebra as a whole, property (5.1) (disjunction) does not hold; its place is taken by property (5.2), interpreted as the unity of opposites (conjunction):

$$A \wedge \bar{A} = I \quad . (5.2)$$

Let us note that in formulas (5.1) and (5.2) "the same A" is of different dimensions! In (5.1) - 1D, in (5.2) - 2D. To distinguish A in disjunction from A in conjunction, we introduce transdimensional indices: A1d (property 5.1) and A 2d (property 5.2), fixing A differently in different contexts, thereby avoiding ambiguities and paradoxes (see, below, the example with Russell's paradox).

Taking into account context in "right" algebra leads, for example, to a violation (weakening) of the laws of identity and idempotency. The "same" element, depending on the context, can have directly opposite ("the particle is a wave") or weakened ("the particle is in some sense the same particle") properties. Accordingly, an "exactly" repeated statement may carry a different (directly opposite) meaning depending on the context (situation, intonation), that is, not be a tautology. Moreover, the degrees of freedom of these algebras are different, since each "right" element is characterized by two algebraic systems at once, and not by one as a "left" element. In general, a polydimensional algebraic metasystem is formed, combining classical and non-classical logics in one representation. A consequence of the different dimensions of algebras is the characteristic weakening of classical properties ("Booleanness") in "right" algebra. Since the "left" (direct and inverse) algebras are equal, independent and "internally" indistinguishable in axioms, they both represent the same type of logic - formal logic of the classical type. "Right" algebra represents another, non-classical type of logic, covering (thanks to the relevance quantifier) many of its existing varieties (relevant, modal, paraconsistent, quantum, many-valued, etc.).

### *Law-vector of the creative process*

Transdimensional relations are, in our opinion, an important feature of the proposed logic, which has a number of consequences. Let us now imagine the entire creative process as a vector movement from a system with a lower dimension to a

system with a higher dimension, which allows us to formulate the following “law-vector of the creative process”: “Any creative process is directed towards higher dimensions, higher degrees of freedom.”

### *The basic law-vector of evolution*

Since any evolution can be described in an integrative manner (after all, the formula “thesis-antithesis-synthesis” is the same transition from disjunction to conjunction), then we can consider the law-vector of the creative process at the same time the basic law of evolution in its reformulation: “Any evolution directed towards higher dimensions, higher degrees of freedom.” The structural complication of matter in the process of development is the result of the action of this law. Thus, the law-vector of evolution emphasizes one more, special quality of the world, which has not yet been fully appreciated: the world consists not only of different-scale, but also different-sized objects (systems); Dimension is the most important characteristic of any structural levels of any Whole, which allows us to record the transition from simple to complex, from part to whole. The whole is always in a higher dimension relative to the part! The whole is described by R-algebra relative to the part (L-algebra) and is divided not only into parts and elements, but also into nested subspaces (projection-dimensions) connected by transdimensional relations.

### *Direction of the world's main vectors*

In our opinion, interesting results are obtained by extrapolating the ULC to evolution as a whole. For example, we receive the law of increasing entropy “first-hand” as a consequence of the functioning of the cycle itself (increasing degrees of freedom = increasing complexity = increasing uncertainty). Also, all the fundamental asymmetries of evolution naturally, in our opinion, follow from the ULC - the very development of the world globally is a transition from L-space to R-space, which determines the direction of the main world vectors: entropy (towards greater uncertainty), evolutionary (towards greater complexity ), temporal (from past to future), psychological (from real to possible). This creates the possibility of a single-root explanation of the direction of the world's main vectors.

### *Transdimensionality (polydimensionality) in thinking and language*

The use of transdimensional relations opens up new resources in understanding the very foundations of language and thinking—binary oppositions. It turns out that oppositions can be simple and complex (with a context-sensitive term), and complex oppositions are polydimensional! Let's compare a simple opposition with opposition (“black-white”) with a complex opposition with negation (“black-non-black”). In

simple opposition, both members of the dyad are uniquely defined (i.e., one-dimensional); in a complex one, they are polydimensional: the unambiguous “black” is opposed to the multivalued “non-black” as an element and a matrix, PD = 1:2. Complex oppositions include not only dyads with negations, but also with a reflexive member (stimulus - response), a secondary action (vibrator - resonator), synthesis in one of the parts (horse - rider), etc. All these are examples of the polydimensionality of PD type 1D:2D or “transdimensional asymmetry”, which has important logical consequences: acontextual concepts are now separated from contextual ones through different dimensions (different transdimensional indexing - see above); It becomes possible to distinguish the object language from the metalanguage.

### *Logical paradoxes*

Taking into account polydimensionality, many classical paradoxes cease to be paradoxes. For example, the “barber’s paradox” (B. Russell): all the villagers are one-dimensional (either they know how to shave or they don’t), but the barber is in a higher dimension: he is able to shave himself and shaves others! The king's decree does not take into account the two-dimensionality of the barber, which creates a paradox! (The same goes for the paradoxes “I’m lying,” “I’m dreaming,” etc.). Polydimensionality allows us to capture such borderline states, making the very concept of belonging variable. To clarify the context, transdimensional indices are needed (see above). Taking into account the transdimensionality of multidimensional logical spaces through transdimensional indexing eliminates paradoxes in principle (and does not veil them, as in Russell’s hierarchy of statement types).

### *Some results of using transdimensional relations*

The need for transdimensional relations was shown above: they reflect in a rational-logical form the features of the creative process, clarify the internal structure of the Whole, the emergence of a new quality as a whole that is absent in its parts, the cause and elimination of logical paradoxes, and allow one to explain in a single-root manner the direction of the main evolutionary vectors and related with this the structural complication of matter, etc. The need for transdimensional relationships, in our opinion, is obvious. But why haven’t they been in the scientific thesaurus yet?

### *Written culture reduces transdimensional relationships*

Written culture (text) played a huge role in the fact that these important relationships were still hidden from the eyes of researchers. The plane (of the sheet) and writing text on it in a line does not allow recording structures of different sizes!

Be it dyads with negation, synthesis, secondary action, complex and reflexive oppositions - etc., etc. - they are all recorded in a homogeneous linear chain. We wrote down the triad “thesis-antithesis-synthesis” as a one-dimensional linear structure, although the synthesis is in a different dimension relative to the thesis! The same thing is a linear record of the transition from disjunction to conjunction; it does not capture the different dimensions of the extreme points of this transition, which we have already noted more than once.

The whole point of a joke or anecdote is in the ambiguity, the two-dimensionality of the keyword, but the letter hides this difference in dimension; although we mentally restore it, we do not understand the full significance of this phenomenon. Written culture in its traditional form is not capable of recording transdimensional relationships! Its basis - the text - is by definition linear and unidirectional, thereby hiding the different dimensions (transdimensionality!) of its constituent elements. But in fact, writing is only a reflection of our thinking, which means we are talking about the incompleteness of our thinking as a whole! And transdimensionality is a resource that can eliminate this incompleteness. The way out of the “captivity of linearity” is in a new transdimensional transition: for example, computer technologies make it possible to translate text into hypertext, the transfer of 3D volumetric information, printing on a 3D printer, etc. are being mastered. All this is also important for the theory of AI: after all, so far all programs are written without taking into account transdimensional relations, i.e. without “depth”!

### *AI, creativity, uniology*

Denial is a prerequisite for creativity, because it is denial that underlies the contradiction that “launches” the creative process. This creates fundamental difficulties when modeling creativity with traditional algorithmic programs - after all, there is no duality or contradiction in them in principle! The logic of creativity is necessary! On the other hand, entering creativity through denial creates the risk of independence and, in the future, disobedience of the AI to the creator – the person. Here we must define the “red line” that limits machine freedom. Another problem is communication (language). Ambiguity, ambiguity, and contextual meanings create great difficulty for a machine to understand a person. As mentioned above, this requires transdimensional indices - the language of the future. Unfortunately, much of what a person uses is not reflected by him in a rational form - how can this “unconscious knowledge” be transferred to a computer? And how much can you trust AI (and now it turns out - our own AI)? So, to form creative thinking in AI, a new “Logic of Creativity” is needed, combining classical and non-classical logics in one polydimensional representation (PD). For the practical implementation of this concept, it is proposed to use modified quantum computers equipped with polydimensional logic and transdimensional relationships.

As we have already noted, transdimensional relationships highlight the deep connection between creativity and evolution. In both cases, the most important thing is the very possibility of development, its degrees of freedom, its dimension and connections between dimensions. Both creativity and evolution can be represented as a global positive transdimensional transition to a higher dimension. It is difficult to overestimate the role of dimension in understanding the world, but there is still no general theory of dimension in science.

What lies ahead is a joint search for scientists from different specialties, the parallel work of entire teams of interdisciplinary scientists, the development of a language of interdisciplinary communication - which will ultimately lead, we hope, to the creation of a new superscience ("Uniology" in our terminology). If all existing sciences consider the world in parts, then Uniology is as a single whole, a grandiose creative act of synthesis, occurring in different materials according to the same scheme - "from disjunction to conjunction"!

## *介紹*

人類的創造力是《創世記》中最令人興奮的謎團之一。 「在世上所有的秘密中，最重要的秘密是創造力的秘密」（茨威格）。 在現代科學中，隨著人工智慧（AI）的創造，對創造過程的理性模型的需求更加增加，人工智慧模仿人類（「自然」）智慧（AI）的活動。 很明顯，人工智慧的問題是我們自己的人工智慧的知識問題。 我們無法賦予電腦我們自己不理解的東西，特別是創造的能力。 問題出現了：如果創作過程的完全形式化原則上可能是不可能的，那麼對其邏輯組成部分（「創造力的邏輯」）的理性表述也許是可能的嗎？ 到目前為止，據我們所知，還沒有這樣的模型。 顯然，在現代自然科學知識中，不存在決定創造性過程的邏輯本質和理性特殊性的重要關係類型。 在這裡，人文學科（主要是音樂）的幫助是可能的。 在研究一首音樂時，我們發現了這種類型的關係，它既負責創造力的理性邏輯面，又負責一般新的認知資源！ 我們稱它們為「跨維度關係」或「跨維度性」。

## *從析取到合取（A.懷特海）*

創造力可以用不同的方式定義。 讓我們從一個智力定義開始：「創造力是解決問題的過程，並產生新的品質、新的結果」（26, 6；另見 4, 164-192）。 但「新品質」是什麼意思呢？ 它是如何產生的？ 科學對此沒有答案。 A.懷特海（A. Whitehead）在《過程與現實》（1929）一書中給出了一個邏輯定義：創造力的本質「在於從析取到合取的轉變，形成與析取所給出的不同的新本質」(引自 20, 17)。 但「新實體」是什麼意思呢？ 讓我們解釋一下，析取和合取是邏輯連接詞； 邏輯中從析取到合取的轉變是指從分割陳述（連詞

「或」）到連結陳述（連詞「和」）的轉變，即從性質、過程、現像到它們的對立（分離）。合成（連接詞，參見「蘋果還是梨子？」——析取；「混合蘋果和梨」——連接詞）。 既然懷特海認為創造力是「終極形上學原則」和「普遍本質中最普遍的」（引自 20、17），那麼從析取到合取的轉變應該被理解為一種普遍性（在著名的進化論的尺度上）。三元組「正題-反題-綜合」）。

有鑑於此，我們可以用懷特海的邏輯公式來補充創造力的最初定義：創造力是透過從析取到合取的轉變來解決問題的過程，並產生新的性質、新的結果（同樣是對立的綜合），形成某種「新本質」）。 但如果正是這種轉變蘊含著創造力的邏輯本質，那麼從析取到合取、對立到互補的轉變又是如何發生的呢？ 反題如何組合成反題合成？ 整體如何出現部分所缺乏的新品質？

## *音樂中的跨維度轉變*

對偶的合成如何以最簡單的音樂陳述形式－單聲部旋律（單調）出現？讓我們以古老的歐洲單曲為例（例 1）。 眾所周知，這首曲子和類似的曲子有兩種類型的支撐——上柱和下柱（“finalis”和“repercussa”，參見例 2）。在最初的情況下，終曲和餘響按順序響起，並作為析取對立（相互競爭的基礎歷時）。 隨著 hylades 的出現，韻母和餘音的功能擴展，使得它們都獲得了對立音的屬性：韻母由中音（“repercussa”）放置，而餘音由底部放置（“finalis”），見註 3）。 這種“角色互換”是綜合的一個非常重要的階段，在這個階段中，對立的事物被“重新組合”，獲得彼此的特性，即成為互補。

下一階段是他們的統一，一個不明顯的創意解決方案：現在從終曲的音調和迴響的音調同時發出相同的曲調（見註 4）。 這樣，最初的（有問題的）矛盾就得到了解決：誰「更重要」——結局還是後果？ 兩者的地位變得平等：互相補充，它們合併成同時發聲的第四和聲（第五）。 旋律加倍：從參考第四（第五）個聲音中發出相同的旋律！ 析取變成合取，所謂的「Organum 風格」出現了（10 世紀）。 發生了從一種聲音到兩種聲音的全球性（歷史意義上的）轉變，這是世界音樂演變中最重要的一次。 此時此刻，音樂空間發生了什麼，我們從這個位置來考慮所有音樂過程和現象？

從一維空間（單位是不同時間發聲的聲音（歷時））到二維空間（單位是間隔（兩個同時發聲的聲音，同步性））的轉變。space (system, element) 是空間(system, element) 的自由度數，允許幾何和參數解釋- 例如，聲音被空間中的一個點固定（= 一維），間隔為 2（=二維），三和弦（=三維），等等）。

在我們的例子中，正是退出二維（到一個新的維度！），在最終的整體中提供了新的質量、新的參數，即同時聲音的質量——當然，這是不可能存在的東西一維性（單音）。 出現了從析取到合取的轉變，其結果是產生了一個二維整體，並具有其原始（一維）部分所不具備的新品質。 因此，一個新的維

度——一個新的參數——一個新的整體質量，但其各個部分卻沒有。 進一步的研究表明，整個音樂史是一系列類似的轉變（見註 4、5、6）。 因此，下一個歷史階段是向三維音樂空間的過渡，即 17 世紀。 - 遵循相同的模式。 二維區間空間的根本問題是第五個和第三個之間的矛盾（原始析取）。 在「Organum」風格中，五度是主要音程（垂直是五度的平行運動）。 第三——音樂空間的邊緣（「不和諧音」）。 在音樂體系改變（從畢達哥拉斯到純粹）之後，發生了「角色的轉變」：第三音逐漸變成協和音，並從第五音中「奪取」了領導地位（「嚴格風格「時代，15 世紀，垂直 - 三度平行移動，禁止平行五度）。 此後，第五和第三的「鬥爭」以它們的合成（合奏）而結束——在新的調律系統中，已經三維的音樂空間的新單位出現了——和弦三和弦（註 5，17 世紀初）作為第三和第五的同時（垂直）統一。 諧音-和聲音樂的時代開始了，取代了先前的調式複音音樂（複音）時代。 最後，二十世紀初從分離到合取的下一個轉變：競爭的（亞）和弦和（亞）音系統統一為多和弦多調性和多和聲； 再一次，對偶的合成進入了音樂空間的新維度，其單位不再是和弦，而是多和弦（見註 6，某些類型的著名多和弦）。

現在，從析取到合取的轉變的細節已經很清楚了：這是一種特殊的轉變－從較低維度的狀態到較高維度的狀態。 每一次，正是新的自由度使得析取中的對立成為合取中的互補。 這種轉變的一個重要特徵需要用一個單獨的術語來固定它。 我們將這種轉變稱為「跨維度轉變」（來自拉丁語 trans - 「通過」、「通過」（維度），縮寫為 TDt - 來自英語「跨維度轉變」。跨維度轉變(TDt) - 從一維空間進行的轉變（應該立即指出的是，一般來說，有必要區分兩種類型的跨維度過渡：從較低維度到較大維度的過渡，反之亦然。第一個選項自然被解釋為作為“正跨維度轉變”（+TDt），第二個- 作為負跨維度轉變（-TDt） 在下文中，通過“跨維度轉變”，我們將理解（除了特別說明的情況）僅從較低維度到低維度的轉變較大的一個，即+TDt)。

現在我們可以澄清懷特海的創造力公式：“創造力是一種從分離到結合的積極的跨維度過渡，並形成新的品質、新的結果。” 新維度=新品質！ 同時，「透過對立的綜合來解決原始矛盾只有在相對於原始矛盾的元空間中才有可能即只有透過跨維度過渡到更高維度的空間」（這就是我們的定理提出了跨維度轉變（ 8, 57-61），這證明了這種拓樸話語陳述的一致性）。

## *跨維度關係*

現在我們可以理解以前在嘗試合理地描述對立面綜合時失敗的原因是什麼未能考慮到不同的維度關係。 合取比析取更高，綜合比對立更高！ 這是一個簡單的例子：給出析取「圓還是正方形？」； 這些對立的結合只有透過從平面到體積的過渡才有可能——出現一個圓柱體，其一個投影是圓形，另一個投

影是正方形。 正是新的維度使我們能夠修復原始析取中缺少的新品質（新參數）。

這個結論開啟了定義和探索整體內一種特殊類型的關係的可能性，這種關係與其組成子空間的不同維度相關。 透過這種方法，跨維度轉變只是新關係的一個重要特例- 用我們的術語來說，“跨維度關係”或“跨維度性”（來自拉丁文 trans -“通過”，“通過”（維度）；英文版本- 跨維度主義，縮寫為 TD）。超維性我們將多維整體中不同維度的子空間之間關係的整體複雜性稱為：嵌入、相互反射投影、卷積展開、維度之間的連結、從一個維度到另一個維度的過渡等（對於某些類型的跨維度關係，請參閱範例 7）。

任何形式都作為結構和過程而存在。 跨維度轉變是創造力作為一個過程的關鍵特徵。 什麼是創造力作為一種結構？ 這裡我們將需要另一個跨維度關係的重要案例-“多維性”（“多維性”，縮寫為 PD - 一個物件同時屬於不同維度的空間（範例 7）。事實上，如果合取與合取處於不同的維度）析取，它們由相同的元素組成並代表單一結構，這意味著這些邏輯連接詞的每個元素都是多維的，PD = 1D: 2D。不考慮多維性會導致邏輯悖論。

## *創造力的普遍邏輯*

現在讓我們用邏輯術語對上述內容進行建模。 我們將新關係與懷特海公式的綜合作為普遍創造力邏輯的基礎：

設普適邏輯的一般代數空間 U 是子空間 L（條件“左”，左）和子空間 R（條件“右”，右）的集合。 那麼這些子空間的代數將分別稱為 L-代數和 R-代數。 左子空間的代數（L-代數）形成所有子集 S1、S2、S3...及其元素 A、B、C...的集合 M。 在 S1、S2、S3... 中的每一個中，定義了兩個二元運算（加法 (∨) 和乘法 (∧)），它們具有以下屬性

對於 S 中的所有 A、B、C...

(1) S 包含 A ∨ B 和 A ∧ B（閉）

(2) A ∨ B = B ∨ A, A ∧ B = B ∧ A（交換律）

(3) A ∨ (B ∨ C) = (A ∨ B) ∨ C (結合)

A ∧ (B ∧ C) = (A ∧ B) ∧

(4) A ∧ (B ∨ C) = A ∧ B ∨ A ∧ C（分配速率）

A∨(B∨C)=(A∨B)∨(A∨C)

(5.l) $A \vee \bar{A} = I$

L 代數有一個對偶：逆 L 代數，使得 $L \vee \bar{L} = I$（析取、對立）。 它們的交集形成一個右代數 R，使得 $L \wedge \bar{L} = I$（合取，補數）。 子空間之間的雙向通訊是透過跨維算子（TD-op）進行的，它會增加或減少維度。 代數 L 和 $\bar{L}$ 單獨是布林值，但它們的交集作為一個整體不是布林值。

因此，R 代數作為一個整體也不是布林型的。 因此，其中的所有定律(1)-(4)可能滿足也可能不滿足，這取決於上下文。 因此，在右代數中，引入了一種特殊的模態運算子－適當性量詞 App（來自「適當性」-相關性），使得 R 中的任何條件（表達式）只有在存在該量詞的情況下才被滿足（即為真） 。 例如：所有 S 都是 P 是合適的， $App(\forall x(S(x)\rightarrow P(c)))$ 等等。

適當性量詞 App 充當過濾器（限制標準），將左側區域（唯一定義的「邏輯語法」法則的作用區域）與右側區域分開，在右側區域中這些法則被削弱或不存在（結合兩種相互抵銷的不同「邏輯語法」的領域）。 對於整個右代數，性質 (5.1)（析取）不成立； 它的位置被屬性（5.2）所取代，被解釋為對立統一（合取）：

$$A\wedge\bar{A}=I \quad (5.2)$$

。

請注意，在公式（5.1）和（5.2）中，「同一個 A」具有不同的維度！ 在 (5.1) - 1D 中，在 (5.2) - 2D 中。 為了區分析取中的 A 和合取中的 A，我們引入了跨維度索引：A1d（性質 5.1）和 A 2d（性質 5.2），在不同的上下文中以不同的方式固定 A，從而避免歧義和悖論（參見下面的羅素悖論範例） ）。

例如，考慮「正確」代數中的上下文會導致違反（削弱）恆等性和冪等性定律。 根據上下文，「相同」元素可以具有直接相反的（「粒子是波」）或弱化的（「粒子在某種意義上是相同的粒子」）屬性。 因此，「完全」重複的陳述可能根據上下文（情況、語調）而帶有不同（直接相反）的含義，即不是同義反覆。 此外，這些代數的自由度是不同的，因為每個“右”元素同時由兩個代數系統表徵，而不是由一個“左”元素表徵。 一般來說，形成一個多維代數元系統，將經典邏輯和非經典邏輯結合在一種表示中。 代數不同維度的結果是「正確」代數中經典屬性（「布爾性」）的特徵減弱。 由於「左」（正代和逆代數）在公理中是相等的、獨立的和「內部」不可區分的，因此它們都代表相同類型的邏輯——經典類型的形式邏輯。 「右」代數代表另一個非經典類型的邏輯，涵蓋（由於相關量詞）它的許多現有變體（相關、模態、次一致、量子、多值等）。

## *創作過程的法則向量*

我們認為，跨維度關係是所提出的邏輯的重要特徵，它具有許多後果。現在讓我們把整個創作過程想像成從低維繫統到高維繫統的向量運動，這使我們能夠制定以下「創作過程的法則向量」：「任何創作過程都是有方向的」走向更高的維度、更高的自由度。”

## *演化的基本法則向量*

由於任何演化都可以用綜合的方式來描述（畢竟，「論-反-綜合」公式同

樣是從析取到合取的轉變），那麼我們可以同時考慮創造性過程的規律向量進化的基本法則重新表述為：“任何進化都指向更高的維度、更高的自由度。”物質在發展過程中結構的複雜化就是這一法則作用的結果，因此，進化的法則向量又強調了世界的一個尚未被充分認識的特殊性質：世界不由不僅是不同尺度的，而且是不同大小的物體（系統）； 維度是任何整體的任何結構層面最重要的特徵，它使我們能夠記錄從簡單到複雜、從部分到整體的轉變。 整體相對於部分總是處於更高的維度！ 整體由相對於部分（L-代數）的 R-代數描述，並且不僅分為部分和元素，而且還分為透過跨維度關係連接的嵌套子空間（投影維度）。

### *世界主要向量的方向*

我們認為，將 ULC 外推到整個進化，可以獲得有趣的結果。 例如，我們「第一手」得到了熵增定律，這是循環本身運作的結果（自由度的增加=複雜性的增加=不確定性的增加）。 此外，我們認為，進化的所有基本不對稱性自然地遵循 ULC - 全球世界的發展就是從 L 空間到 R 空間的過渡，這決定了主要世界向量的方向：熵（走向更大的不確定性） ，進化的（走向更大的複雜性），時間的（從過去到未來），心理的（從真實到可能）。 這創造了對世界主向量方向的單根解釋的可能性。

### *思維和語言的跨維度（多維度）*

跨維度關係的使用為理解語言和思考的基礎－二元對立開啟了新的資源。事實證明，對立可以是簡單的，也可以是複雜的（使用上下文相關的術語），而複雜的對立是多維的！ 讓我們將簡單的對立與對立（“黑-白”）與複雜的對立與否定（“黑-非黑”）進行比較。 簡單來說，二元組的兩個成員都是唯一定義的（即一維）； 在複雜的情況下，它們是多維的：明確的“黑色”作為元素和矩陣與多值的“非黑色”相對，PD = 1:2。 複雜的對立不僅包括否定的二元對立，還包括反射成員（刺激 - 反應）、次要作用（振動器 - 諧振器）、其中一個部分的綜合（馬 - 騎手）等。所有這些都是 PD 類型 1D:2D 或「跨維度不對稱」的多維性，具有重要的邏輯後果：上下文概念現在透過不同維度（不同的跨維度索引- 見上文）與上下文概念分開； 區分物件語言和元語言變得可能。

### *邏輯悖論*

考慮到多維性，許多經典悖論就不再是悖論了。 例如，「理髮師悖論」（B. Russell）：所有村民都是一維的（要么他們知道如何刮鬍子，要么不知道），但理髮師處於更高的維度：他能夠給自己刮鬍子還給別人刮鬍子！ 國

王的法令沒有考慮到理髮師的二維性，這就產生了一個悖論！ （「我在說謊」、「我在做夢」等悖論也是如此）。 多維性使我們能夠捕捉這種邊緣狀態，從而使歸屬感的概念變得可變。 為了澄清上下文，需要跨維度索引（見上文）。 透過跨維度索引考慮多維邏輯空間的跨維度性，原則上消除了悖論（並且不會像羅素的陳述類型層次結構那樣掩蓋它們）。

## *使用跨維度關係的一些結果*

上面顯示了對跨維度關係的需求：它們以理性邏輯的形式反映了創作過程的特徵，闡明了整體的內部結構，出現了一個整體上不存在的新品質，原因並消除邏輯悖論，並允許人們以單根方式解釋主要演化向量的方向以及與此相關的物質的結構複雜性等。 我們認為，對跨維度關係的需求是顯而易見的。 但為什麼它們還沒有被列入科學辭典呢？

## *書寫文化減少了跨維度關係*

書寫文化（文本）發揮了巨大的作用，因為這些重要的關係仍然隱藏在研究人員的視線之外。 （紙張的）平面和在其上一行書寫文字不允許記錄不同尺寸的結構！ 無論是否定、綜合、次要作用、複雜和反身對立等二元體，它們都被記錄在同質的線性鏈中。 我們將「正題-反題-綜合」三元組寫為一維線性結構，儘管綜合相對於論文處於不同的維度！ 同一事物是從析取到合取轉變的線性記錄； 它沒有捕捉到這種轉變的極值點的不同維度，我們已經不只一次注意到這一點。

笑話或軼事的全部要點在於關鍵字的歧義性和二維性，但信件隱藏了這種維度上的差異； 儘管我們在精神上恢復了它，但我們並不理解這種現象的全部意義。 傳統形式的書寫文化無法記錄跨維度關係！ 它的基礎——文本——根據定義是線性和單向的，從而隱藏了其組成元素的不同維度（跨維度！）。但事實上，寫作只是我們思維的反映，這意味著我們談論的是我們整體思維的不完整性！ 而跨維度就是可以消除這種不完整性的資源。 擺脫「線性束縛」的出路在於新的跨維度轉變：例如，電腦科技使得將文字翻譯成超文本成為可能，3D 體積資訊的傳輸、3D 列印機上的列印等正在被掌握。 所有這些對於人工智慧理論也很重要：畢竟，到目前為止，所有程式都是在沒有考慮跨維度關係的情況下編寫的，即沒有「深度」！

## *人工智慧、創造力、統一性*

否認是創造力的先決條件，因為正是否認隱藏了「啟動」創造過程的矛盾

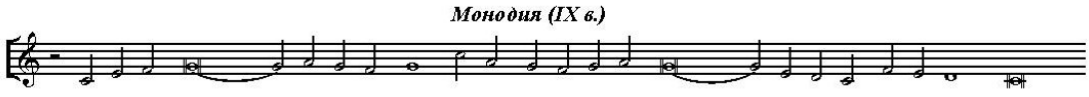
這在使用傳統演算法程式對創造力進行建模時造成了根本性的困難 - 畢竟，它們原則上不存在二元性或矛盾！ 創意的邏輯是必要的！ 另一方面，透過否認來進入創造力會帶來獨立的風險，並且在未來，人工智慧會不服從創造者——人。 這裡我們必須界定限制機器自由的「紅線」。 另一個問題是溝通（語言）。 歧義、歧義和上下文含義給機器理解人造成了極大的困難。 如上所述這需要跨維度索引——未來的語言。 不幸的是，一個人使用的許多東西並沒有以理性的形式反映出來——這種「無意識的知識」如何轉移到電腦上？ 你能在多大程度上信任人工智慧（現在事實證明——我們自己的人工智慧）？ 因此，為了形成人工智慧的創造性思維，需要一種新的“創造力邏輯”，將經典邏輯和非經典邏輯結合在一個多維表示（PD）中。 為了實際實現這一概念，建議使用配備多維邏輯和跨維關係的改進量子電腦。

正如我們已經指出的，跨維度關係凸顯了創造力與演化之間的深層連結。在這兩種情況下，最重要的是發展的可能性、它的自由、它的維度、維度之間的連結。 創造力和演化都可以表現為向更高維度的全球積極跨維度過渡。 很難高估維度在理解世界中的作用，但科學上仍然沒有普遍的維度理論。

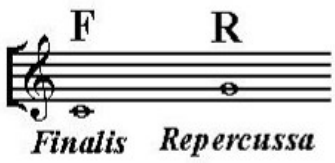
未來的任務是共同尋找來自不同專業的科學家，整個跨學科科學家團隊的並行工作，開發跨學科交流的語言——我們希望，這最終將導致創建一個新的超級科學（“Uniology”）。 ”用我們的術語來說）。 如果所有現有的科學都將世界視為各個部分，那麼統一論就是一個整體，是一種宏大的綜合創造性行為，根據相同的方案在不同的材料中發生——“從析取到合取” ！

**ПРИЛОЖЕНИЕ** **APPENDIX** **附錄**

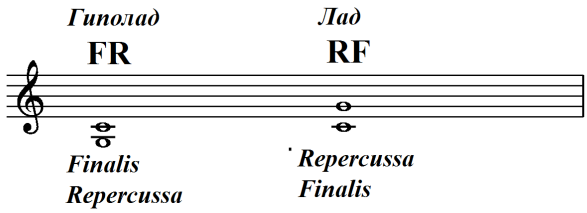
Пример 1 Example 1 例子 1



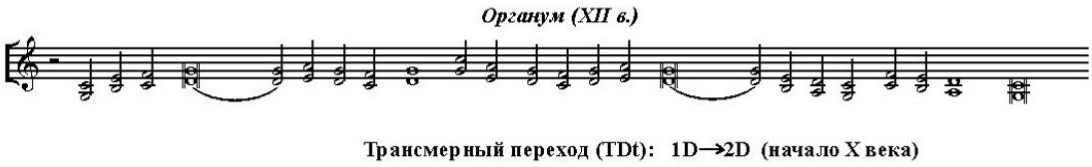

Пример 2 Example 2 例子 2



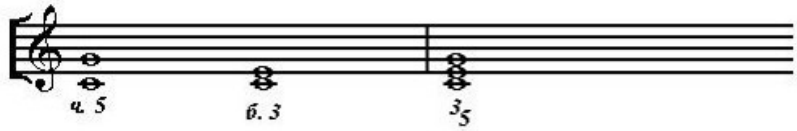
Пример 3 Example 3 例子 3




Пример 4 Example 4 例子 4

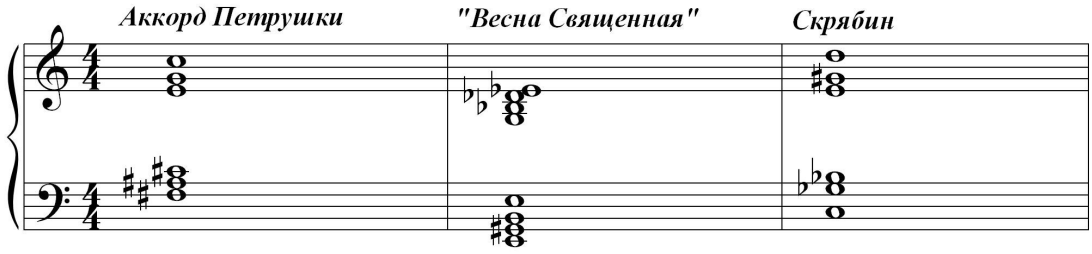



Пример 5 Example 5 例子 5




**Трансмерный переход (TDt): 2D⟶3D (начало XVII века)**

Пример 6 Example 6 例子 6




*TDt: 3D⟶4D (Полигармония, начало XX в.)*

Пример 7 Example 7 例子 7

**Трансмерный переход** (transdimentional transition, TDt) – переход из пространства одной размерности в пространство другой размерности.
**Полиразмерность** (polydimension, PD) – одновременное пребывание объекта в пространствах разной мерности.
**Изоразмерность** (isodimension, ID)- пребывание в пространствах одной той мерности.
**Трансмерный перепад** (transdimentional cascade TDc) - переход из пространства одной размерности в пространство другой размерности с последующим возвращением в исходную размерность.
**Вариаразмерность** (variational dimension, VD) – пространство с варьированной размерностью.

**Трансмерный крест**  – сопряжение трансмерной горизонтали и трансмерной вертикали.

12

***Литература*** ***References*** ***參考書目***


1. Алексеев А.Ю. Комплексный тест Тьюринга: философско-методологические и социокультурные аспекты. М., ИИнтелл, 2013 г..
2. Балашов Л.Е. Противоречие (категориально-логический портрет) // Полигнозис, 1998, №3
3. Бахтин М. Эстетика словесного творчества. М., 1979.
4. Бескова И.А. Как возможно творческое мышление. М., 1993
5. Васюков В. Л. Квантовая логика, М., 2005
6. Кобляков А.А. Синергетика и творчество: универсальная модель устранения противоречий как основа новой стратегии исследований // Синергетическая парадигма. М., 2000.
7. Кобляков А.А. От дизъюнкции к конъюнкции (контуры общей теории творчества // Языки науки — языки искусства. М., 2000.
8. Кобляков А.А. Теорема о трансмерном переходе, Труды Международной конференции «Математика. Компьютер. Образование». Вып. 7, часть 1, стр. 57-61, Москва, 2000.
9. Кобляков А.А. О единой модели, задающей творчество в самом широком его понимании // Устойчивое развитие, наука и практика. № 2, Москва–Дубна, 2003.
10. Koblyakov A. Creation and new transdimensional relations, Symmetry: culture and science, volume 26, number 3, 2015.
11. Koblyakov A. Creation, transdimensional relations, aesthetic modeling, Symmetry: culture and science, volume 28, number 1, pp. 117-135, 2017.
12. Кобляков А.А. Музыкальное творчество и наука: новые трансмерные отношения, Музыкальная Академия, №1, стр.162-179, 2018
13. Курдюмов С.П. Увидеть общий корень, Знание – сила, 1988, №11.
14. Курдюмов С.П. Режимы с обострением, М., 2006.
15. Леви-Стросс К. Структура и форма. Зарубежные исследования по семиотике фольклора. – М., 1985.

# Секция «Системная биология, логика и искусственный интеллект»

## Подсекция «Логика и искусственный интеллект»

DOI 10.18699/sblai2023-01

### *О построении графа знаний научной предметной области в семантической библиотеке*

Атаева О.М.*, Серебряков В.А.**, Тучкова Н.П.***
ФИЦ «Информатика и управление» РАН, Москва, Россия
* oli.ataeva@gmail.com, ** serebrvas@gmail.com, *** natalia_tuchkova@mail.ru

В работе рассматривается подход к построению графа знаний на основе онтологического представления научных предметных областей средствами семантической библиотеки LibMeta [1]. Изложение опирается на понятия, связанные с информацией и интеллектуальным анализом данных, такие как знание, извлечение знаний, онтология предметной области, научная предметная область, тезаурус, семантическая цифровая библиотека, информационная потребность пользователя, метод онтологического проектирования и собственно граф знаний.

Граф знаний представляет собой базу знаний, которая использует модель данных или топологию, структурированную графом, для интеграции данных. Назначение графа знаний состоит в извлечении знаний из источников данных [2, 3] и представлении этих знаний в виде модели (графа), которая определяет сущности и отношения между ними. К числу актуальных задач относятся построение графа знаний научной предметной области и выбор технологии его построения. Новая вершина тезауруса предметной области появляется, если при анализе (предобработке) первичных данных (статей) выявлен новый термин, обозначающий понятие этой предметной области, но ранее он не встречался (или отсутствовал) в тезаурусе. Задача пополнения может трансформироваться в задачу встраивания в граф [4], когда один из узлов заменяется подграфом.

На основе LibMeta есть решение проблем построения графа знаний в онтологическом проектировании [5] с достраиванием на основании информационного запроса от пользователя. Для математических знаний аналогичная идея была заложена еще задолго до появления технологии построения графа знаний как способ обеспечения доступа исследователей к научным результатам во Всемирной математической библиотеке (WDML [6]). Онтология цифровой библиотеки LibMeta определяет структуру данных контента библиотеки. Каждому элементу данных, загруженных в библиотеку, можно сопоставить вершину онтологии, определяющую положение элемента данных в онтологии. На основании связей онтологии и связей, определенных на этапе проектирования, можно построить граф данных. Данные предметной области можно представить как граф, структура которого определяется онтологией, вершины (статьи) – экземпляры элементов онтологии, связи – связи тезауруса. Дальнейшие исследования посвящены применению алгоритмов искусственного интеллекта для извлечения знаний на основе энциклопедии и наполнения библиотеки.

Работа частично поддержана Российским научным фондом, проект 22-21-00449.

***Литература***

1. Ataeva O., Serebryakov V., Tuchkova N. Creating the Applied Subject Area Ontology by Means of the Content of the Digital Semantic Library, Lobachevskii J. Mathematics, 2022, vol. 43, no. 7. P. 1795-1804. Doi 10.1134/S1995080222100043.

2. Wang P., Jiang H., Xu J., Zhang Q., Knowledge graph construction and applications for web search and

beyond. Data Intelligence. 2019;1(4):333-349.

3. Wang J. Math-KG: Construction and Applications of Mathematical Knowledge Graph, arXiv:2205.03772, 2022. Doi 10.48550/arXiv.2205.03772.

4. Yang H., Zhang L., Wang B., Yao T., Liu J. Cycle or Minkowski: Which is More Appropriate for Knowledge Graph Embedding? Proceedings of the 30th ACM International Conference on Information & Knowledge Management. 2021;2301-2310.

5. Lange C. Ontologies and languages for representing mathematical knowledge on the Semantic Web. Semantic Web. 2013;4(2):119-158.

6. Ion P.D.F., Watt S.M. The Global Digital Mathematics Library and the International Mathematical Knowledge. In: Geuvers H., England M., Hasan O., Rabe F., Teschke O. (Eds.). Intelligent Computer Mathematics. CICM 2017. Lecture Notes in Computer Science, Springer, Cham, 2017, vol. 10383. P. 56-69. Doi 10.1007/978-3-319-62075-6_5.

## *Building a knowledge graph of a scientific subject area in a semantic library*

Ataeva O.M.*, Serebryakov V.A.**, Tuchkova N.P.***
FRC "Computer Science and Control" RAS, Moscow, Russia
* oli.ataeva@gmail.com, ** serebrvas@gmail.com, *** natalia_tuchkova@mail.ru

The paper considers an approach to building a knowledge graph based on the ontological representation of scientific subject areas using the semantic library LibMeta [1]. This work is based on concepts related to information and data mining, such as knowledge, knowledge extraction, domain ontology, scientific domain, thesaurus, semantic digital library, user information need, ontological design method and, in fact, the knowledge graph.

A knowledge graph is a knowledge base that uses a graph-structured data model or topology to integrate data. The purpose of a knowledge graph is to extract knowledge from data sources [2, 3] and represent this knowledge in the form of a model (graph) that defines entities and relationships between them. Among the urgent tasks are the construction of a knowledge graph of a scientific subject area and the choice of technology for its construction. A new top of the subject area thesaurus appears if, during the analysis (preprocessing) of primary data (articles), a new term denoting the concept of this subject area is identified, but it has not been previously encountered (or was absent) in the thesaurus. The replenishment problem can be transformed into a graph embedding problem [4] when one of the nodes is replaced by a subgraph.

For a knowledge graph based on LibMeta, there is a solution to the construction problems in ontological design [5] with completion based on an information request from the user. For mathematical knowledge, a similar idea was laid down long before the advent of knowledge graph technology as a way to provide researchers with access to scientific results in the World Mathematical Library WDML [6].The LibMeta digital library ontology defines the data structure of the library content. Each data element loaded into the library can be associated with an ontology vertex that determines the position of the data element in the ontology. Based on the ontology links and the links defined at the design stage, you can build a data graph. Domain data can be represented as a graph whose structure is determined by the ontology, vertices (articles) are instances of ontology elements, links are thesaurus links. Further research is devoted to the use of artificial intelligence algorithms for extracting knowledge from the subject area based on the encyclopedia and filling the library.

This work was supported by budget topics of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation 'Mathematical methods for data analysis and forecasting' and particular the Russian Science Foundation, grant No. 22-21-00449.

### *References*

1. Ataeva O., Serebryakov V., Tuchkova N. Creating the Applied Subject Area Ontology by Means of the Content of the Digital Semantic Library, Lobachevskii J. of Mathematics, 2022, vol. 43, no. 7. P. 1795-1804. Doi 10.1134/S1995080222100043.

2. Wang P., Jiang H., Xu J., Zhang Q., Knowledge graph construction and applications for web search and beyond. Data Intelligence. 2019;1(4):333-349.

3. Wang J. Math-KG: Construction and Applications of Mathematical Knowledge Graph, arXiv:2205.03772,

2022. Doi 10.48550/arXiv.2205.03772.

4. Yang H., Zhang L., Wang B., Yao T., Liu J. Cycle or Minkowski: Which is More Appropriate for Knowledge Graph Embedding? Proceedings of the 30th ACM International Conference on Information & Knowledge Management. 2021;2301-2310.

5. Lange C. Ontologies and languages for representing mathematical knowledge on the Semantic Web. Semantic Web. 2013;4(2):119-158.

6. Ion P.D.F., Watt S.M. The Global Digital Mathematics Library and the International Mathematical Knowledge. In: Geuvers H., England M., Hasan O., Rabe F., Teschke O. (Eds.). Intelligent Computer Mathematics. CICM 2017. Lecture Notes in Computer Science, Springer, Cham, 2017, vol. 10383. P. 56-69. Doi 10.1007/978-3-319-62075-6_5.

## 在語義庫中構建科學主題領域的知識圖譜

阿塔耶娃

Ataeva O.M.*, Serebryakov V.A.**, Tuchkova N.P.***

FRC CSC RAS，莫斯科

* oli.ataeva@gmail.com, ** serebrvas@gmail.com, *** natalia_tuchkova@mail.ru

本文考慮了一種使用語義庫 LibMeta [1] 基於科學主題領域的本體表示來構建知識圖譜的方法。 這項工作基於與信息和數據挖掘相關的概念，例如知識、知識抽取、領域本體、科學領域、詞庫、語義數字圖書館、用戶信息需求、本體設計方法以及知識圖譜。

知識圖譜是使用圖結構的數據模型或拓撲來集成數據的知識庫。 知識圖譜的目的是從數據源 [2, 3] 中提取知識，並以定義實體及其之間關係的模型（圖）的形式表示這些知識。 緊迫的任務包括構建科學學科領域的知識圖譜及其構建技術的選擇。 如果在分析（預處理）原始數據（文章）期間，識別出表示該主題領域概念的新詞，但該主題詞庫之前未曾遇到（或不存在） 詞庫。 當其中一個節點被子圖替換時，補貨問題可以轉化為圖嵌入問題 [4]。

對於基於 LibMeta 的知識圖譜，本體設計 [5] 中的構建問題有一個解決方案，它基於用戶的信息請求完成。 對於數學知識，早在知識圖譜技術出現之前就提出了類似的想法，作為一種方式為研究人員提供訪問世界數學圖書館 WDML[6] 中的科學成果的途徑。LibMeta 數字圖書館本體定義了數據結構 庫內容。 加載到庫中的每個數據元素可以與確定數據元素在本體中的位置的本體頂點相關聯。 基於本體鏈接和設計階段定義的鏈接，可以構建數據圖。 領域數據可以表示為一個圖，其結構由本體決定，頂點（文章）是本體元素的實例，鏈接是詞庫鏈接。 進一步的研究致力於使用人工智能算法從基於百科全書的學科領域中提取知識並填充圖書館。

文學

1. Ataeva O., Serebryakov V., Tuchkova N. Creating the Applied Subject Area Ontology by Means of the Content of the Digital Semantic Library, Lobachevskii J. of Mathematics, 2022, vol. 43, no. 7. P. 1795-1804. Doi 10.1134/S1995080222100043.

2. Wang P., Jiang H., Xu J., Zhang Q., Knowledge graph construction and applications for web search and beyond. Data Intelligence. 2019;1(4):333-349.

3. Wang J. Math-KG: Construction and Applications of Mathematical Knowledge Graph, arXiv:2205.03772, 2022. Doi 10.48550/arXiv.2205.03772.

4. Yang H., Zhang L., Wang B., Yao T., Liu J. Cycle or Minkowski: Which is More Appropriate for Knowledge Graph Embedding? Proceedings of the 30th ACM International Conference on Information & Knowledge Management. 2021;2301-2310.

5. Lange C. Ontologies and languages for representing mathematical knowledge on the Semantic Web. Semantic Web. 2013;4(2):119-158.

6. Ion P.D.F., Watt S.M. The Global Digital Mathematics Library and the International Mathematical Knowledge. In: Geuvers H., England M., Hasan O., Rabe F., Teschke O. (Eds.). Intelligent Computer Mathematics. CICM 2017. Lecture Notes in Computer Science, Springer, Cham, 2017, vol. 10383. P. 56-69. Doi 10.1007/978-3-319-62075-6_5.

DOI 10.18699/sblai2023-02

# *Логические и вычислительные аспекты искусственного интеллекта в семантическом моделировании*

Гончаров С.С.
Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
s.s.goncharov@math.nsc.ru

Вопросы развития исследований в области искусственного интеллекта (ИИ) с момента создания вычислительных машин всегда занимали внимание ученых и разработчиков вычислительной техники с целью ее применения в различных сферах человеческой деятельности и развитии современного общества. Начало исследованиям было положено в работах Я.М. Барздиня, Э. Блюм по извлечению предельных функций по последовательностям начальных данных, ими были построены первые контрпримеры, а также были развиты другие ослабленные требования поиска, которые вылились в машинное обучение. В последнее время на пути успехов в задачах распознавания образов и построения систем обработки естественного языка, систем перевода, систем обработки символьной информации вновь возникли идеи расширения возможностей применения машин в проблемах науки, инженерии и других ранее присущих лишь человеку видах деятельности.

Логические исследования лежат в основе современных ИТ-технологий и развития методов доверительного ИИ. Высокая оценка и признание выдающейся роли логики в развитии научного подхода к исследованию окружающего нас мира и в развитии новых технологий послужили основанием объявления ЮНЕСКО 14 января Днем логики. Генеральным директором ЮНЕСКО Одрэ Азуле было в 2018 году отмечено, что «В XXI веке логика как дисциплина оказалась, как никогда прежде, современной и актуальной для наших обществ и наших экономик. Так, вычислительная техника и цифровая среда представляют собой технологии, изначально основанные на принципах логического и алгоритмического мышления». На заседании Президиума РАН по вопросу ИИ была поставлена проблема доверительного ИИ в разработке научных основ и технологий ИИ, которая требует комплексных исследований, начиная с методологии и заканчивая проблемами безопасности использования сложных программных и машинных комплексов.

В ИМ СО РАН под руководством академиков Ю.Л. Ершова и С.С. Гончарова были инициированы исследования [1] по построению не императивного, а дескриптивного языка программирования на основе логически обоснованного задачного подхода и построения вычислимости на абстрактных моделях. Построен логический язык программирования и его полиномиальная версия [2] на основе развития теории неподвижных точек монотонных логических операторов Барвайса [3], что позволило успешно реализовать программные системы, получить успешно реализованные программы для современных задач в телекоммуникациях, управлении системами платежей, анализе генетической информации и других, которые имеют ясную логическую основу и позволяют делать корректные их модификаций для новых условий и задач.

Сама постановка задачи начинается с построения онтологии предметной области и ее трех этапов формализации в рамках и средствами логического языка, предложенных алгоритмов и их программных реализаций, а также анализа взаимоотношений этих трех уровней формализаций. В основу построения математической теории семантического подхода были положены идеи языка программирования Пролог, теория допустимых множеств, классическая теория вычислимости, включая относительную вычислимость с оракулами и логическими теориями их обоснования. На концептуально единой математической теории разработан подход в практической реализации этих идей в различных предметных областях: в генетике, медицине, финансовых системах (Е.Е. Витяев), системах документного управления крупными предприятиями (А. Манцивода), телекоммуникациях, системах поддержки принятия решений, платежных системах и задачах автоматизации управления такими системами (Д.И. Свириденко, В. Гумиров, Д.Е.

Пальчунов, П. Деменков).

***Литература***

1. Ershov Y.L., Goncharov S.S., Sviridenko D.I. Semantic programming. Information processing. Proc. IFIP 10th World Comput. Congress, Dublin. Vol. 10, 1986, 1113-1120.

2. Goncharov S.S., Nechesov A.V. Semantic programming for AI and Robotics. IEEE International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences, 2022, pp.810-815. Doi 10.1109/SIBIRCON56155.2022.10017077.

3. Goncharov S.S., Nechesov A.V. Polynomial analogue of Gandy's fixed point theorem. Mathematics. 2021;9(17):2102. Doi 10.3390/math9172102.

## *Logical and computational aspects of artificial intelligence in semantic modeling*

Goncharov S.S.
Sobolev Institute of Mathematics of SB RAS, Novosibirsk, Russia
s.s.goncharov@math.nsc.ru

Issues of development of research in the field of artificial intelligence (AI) since the creation of computing machines have always attracted the attention of scientists and developers of computer technology with the aim of its application in various spheres of human activity and the development of modern society. The research began with the work of J.M. Barzdin, E. Blum extracting the limit functions from the sequences of the initial data and they built the first counterexamples, as well as developed other relaxed search requirements that resulted in machine learning. In recent times, in the path of success in the tasks of pattern recognition and construction of natural language processing systems, translation systems, symbolic information processing systems, ideas of expanding the capabilities of machines have arisen again in the problems of science, in the Engineering and other previously human activities.

Logical research is at the heart of modern IT technologies and the development of trusted AI methods. Appreciation and recognition of the outstanding role of logic in the development of a scientific approach to the study of the world around us and in the development of new technologies served as the basis for declaring January 14 as the Day of Logic by UNESCO. UNESCO Director-General Audrey Azoulay noted in 2018 that “In the twenty-first century – indeed, now more than ever – the discipline of logic is a particularly timely one, utterly vital to our societies and economies. Computer science and information and communications technology, for example, are rooted in logical and algorithmic reasoning”. At the meeting of the Presidium of the Russian Academy of Sciences on the issue of AI, the problem of trusting AI in the development of the scientific foundations and technologies of AI was raised, which requires comprehensive research, from methodology to security problems in the use of complex software and machine systems.

At the Sobolev Institute of Mathematics, academicians Y.L. Ershov and S.S. Goncharov initiated research [1] on the construction of not an imperative, but a descriptive programming language based on a logically justified task approach and the construction of computability on abstract models. A logical programming language and its polynomial version [2] were built based on the development of the theory of fixed points of monotonic logical operators Barwise [3], which made it possible to successfully implement software systems to obtain successfully implemented programs for modern tasks in telecommunications, payment systems management, analysis of genetic information and others, which have a clear logical basis and allow you to make their correct modifications for new conditions and tasks.

The statement of the problem begins with the construction of the ontology of the subject area and its three stages of formalization within the framework of the logical language, the proposed algorithms and their software implementations, as well as the analysis of the relationship between these three levels of formalizations. The mathematical theory of the semantic approach was based on the ideas of the programming language Prolog, the theory of admissible sets, the classical theory of computability, including relative computability with oracles and logical theories of their justification. On the basis of a conceptually unified mathematical theory, an approach has been

developed for the practical implementation of these ideas in various subject areas: in genetics, medicine, financial systems (E.E. Vityaev), document management systems for large enterprises (A. Mancivoda), telecommunications, decision support systems, payment systems and tasks of automating the management of such systems (D.I. Sviridenko, V. Gumirov, D.E. Palchunov, P. Demenkov).

***References***

1. Ershov Y.L., Goncharov S.S., Sviridenko D.I. Semantic programming. Information processing. Proc. IFIP 10th World Comput. Congress, Dublin. Vol. 10, 1986, 1113-1120.

2. Goncharov S.S., Nechesov A.V. Semantic programming for AI and Robotics. IEEE International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences, 2022, pp.810-815. Doi 10.1109/SIBIRCON56155.2022.10017077.

3. Goncharov S.S., Nechesov A.V. Polynomial analogue of Gandy's fixed point theorem. Mathematics. 2021;9(17):2102. Doi 10.3390/math9172102.

人工智能的邏輯和計算方面 在語義建模中

Goncharov S.S.
Sobolev 數學研究所，電子郵件
s.s.goncharov@math.nsc.ru

自計算機器誕生以來，人工智能領域的研究發展問題一直受到計算機技術科學家和開發人員的關注，旨在將其應用於人類活動的各個領域和現代社會的發展。 該研究始於 J.M. Barzdin、E. Blum 從初始數據序列中提取極限函數的工作，他們構建了第一個反例，並開發了其他導致機器學習的寬鬆搜索要求。 最近，在模式識別和構建自然語言處理系統、翻譯系統、符號信息處理系統等任務的成功之路上，擴展機器能力的想法在科學問題、工程問題中再次出現 和其他以前的人類活動。

邏輯研究是現代 IT 技術和可信人工智能方法開發的核心。 對邏輯在研究我們周圍世界的科學方法的發展和新技術發展中的突出作用的欣賞和認可是聯合國教科文組織宣布 1 月 14 日為邏輯日的基礎。 教科文組織總幹事奧黛麗·阿祖萊在 2018 年指出：“在二十一世紀——事實上，現在比以往任何時候——邏輯學科都特別及時，對我們的社會和經濟至關重要。 例如，計算機科學和信息與通信技術植根於邏輯和算法推理。” 在俄羅斯科學院主席團關於人工智能問題的會議上，提出了在人工智能的科學基礎和技術發展中信任人工智能的問題，這需要綜合研究，從方法論到安全問題在 使用複雜的軟件和機器系統。

在索博列夫數學研究所，院士 Y.L. Ershov 和 S.S. Goncharov 發起的研究 [1] 不是命令式的，而是基於邏輯上合理的任務方法和抽像模型的可計算性構建的描述性編程語言。 基於單調邏輯運算符 Barwise [3] 的不動點理論的發展，構建了一種邏輯編程語言及其多項式版本 [2]，這使得成功實現軟件系統成為可能，以獲得成功實現的現代任務程序電信、支付系統管理、遺傳信息分析等。 ，它們具有清晰的邏輯基礎，並允許您針對新的條件和任務進行正確的修改。

問題的陳述從主題領域本體的構建及其在邏輯語言框架內形式化的三個階段開始，提出的算法及其軟件實現，以及這三個層次之間關係的分析 形式化。 語義方法的數學理論基於編程語言 Prolog 的思想、可容許集理論、經典的可計算性理論，包括與 oracles 的相對可計算性和證明其合理性的邏輯理論。 在概念上統一的數學理論的基礎上，已經開發出一種方法來在各個學科領域實際實施這些想法：遺傳學、醫學、金融系統 (E.E. Vityaev)、大型企業的文檔管理系統 (A. Manｃivoda)、電信、決策支持系統、支付系統和自動化管理此類系統的任務（D.I. Sviridenko、V. Gumirov、D.E. Palchunov、P. Demenkov）。

文學

1. Ershov Y.L., Goncharov S.S., Sviridenko D.I. Semantic programming. Information processing. Proc. IFIP

10th World Comput. Congress, Dublin. Vol. 10, 1986, 1113-1120.
2. Goncharov S.S., Nechesov A.V. Semantic programming for AI and Robotics. IEEE International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences, 2022, pp.810-815. Doi 10.1109/SIBIRCON56155.2022.10017077.
3. Goncharov S.S., Nechesov A.V. Polynomial analogue of Gandy's fixed point theorem. Mathematics. 2021;9(17):2102. Doi 10.3390/math9172102.

DOI 10.18699/sblai2023-03

## *Объяснимый искусственный интеллект: проблемы, вопросы и приложения*

Марченко М.А.
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
Новосибирск, Россия
marchenko@sscc.ru

Объяснимый искусственный интеллект (Explainable AI) – математическая модель, которая способна объяснять механизмы, лежащие в основе алгоритмов искусственного интеллекта (моделей машинного обучения). Множество решений, применяющих алгоритмы ИИ, представляют собой подобие «черного ящика». Поэтому зачастую не только конечные пользователи, но и сами разработчики не могут точно определить, как именно модель машинного обучения пришла к тем или иным выводам в ходе обработки исходных данных. Понимание работы алгоритмов искусственного интеллекта позволит разработчикам точно оценивать влияние входных признаков на выходной результат модели, выявлять необъективности и недостатки, связанные с работой модели, а также проводить тонкую настройку и оптимизацию такого рода методов. Для пользователей объяснимость результата работы методов искусственного интеллекта важна в части понимания причин выводов, сделанных моделью, а для экспертов – для объяснения тех выводов, которые на первый взгляд не имеют под собой оснований, например при поиске скрытых закономерностей в данных.

В докладе делается обзор алгоритмически обоснованных подходов к разработке методов искусственного интеллекта, описываются методы интерпретации результатов их применения для решения конкретных задач.

## *Explainable artificial intelligence: problems, questions and applications*

Marchenko M.A.
Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of SB RAS,
Novosibirsk, Russia
marchenko@sscc.ru

The explained artificial intelligence (Explainable AI) is a mathematical model that can explain the mechanisms underlying artificial intelligence algorithms (machine learning models). Many solutions that use AI algorithms are like a “black box”. Therefore, often not only end users, but the developers themselves cannot determine exactly how exactly the machine learning model came to one or another conclusions during the processing of the source data. Understanding the work of artificial intelligence algorithms will allow developers to accurately evaluate the influence of the input features on the output result of the model, to identify bias and disadvantages associated with the work of the model, as well as to carry out subtle tuning and optimizing this kind of method. For users, the explanation of the result of the work of artificial intelligence methods is important regarding the understanding of the causes of the conclusions made by the model, and for experts, to explain those conclusions that at first glance have no grounds, for example, when looking for hidden laws in the data.

The report makes an overview of algorithmically sound approaches to the development of

artificial intelligence methods, and methods of interpreting the results of their application are described to solve specific applications.

可解釋的人工智能：問題、問題和應用
馬爾琴科·米哈伊爾·亞歷山德羅維奇
Marchenko M.A.
ICM&MG SB RAS 總監
Marchenko@sscc.ru

Explainable AI 是一種數學模型，能夠解釋人工智能算法（機器學習模型）背後的機制。 許多使用人工智能算法的解決方案就像一個“黑匣子”。 因此，不僅最終用戶，而且開發人員本身往往無法準確確定機器學習模型在處理初始數據期間如何得出某些結論。 了解人工智能算法的運行將使開發人員能夠準確評估輸入特徵對模型輸出的影響，識別與模型運行相關的偏差和缺點，以及微調和優化此類方法。 對於用戶來說，人工智能方法工作結果的可解釋性對於理解模型得出結論的原因很重要，對於專家來說，對於解釋那些乍一看沒有根據的結論，例如，在搜索數據中的隱藏模式時。

該報告概述了基於算法的人工智能方法開發方法，描述了解釋其應用結果以解決特定問題的方法。

DOI 10.18699/sblai2023-33

***Три определения меры знания***

Михайловский Н.
Высшая ИТ-школа ТГУ и ООО «НТР», Томск, Россия
nickm@ntr.ai

Познающие агенты, включая людей, решают проблемы, строя модели. Модель – это объяснение явления, то есть предположение механизма того, как оно может происходить. При построении модели принимают точку зрения некоторой теории на явление, отбрасывая несущественные детали. Каждая модель имеет ограниченную область применимости. В рамках одной теории можно строить модели множества явлений. Назовем такой тип знания «знанием научного типа» [1].

Определим содержание знаний модели $M$, объясняющей явление $\Phi$ и относящейся к теории $\mathcal{T}$. $\Phi$ проявляется как измерения конечной точности $P = \{p_1, p_2, \dots\}$. Будем считать точку зрения $\mathcal{T}$ оператором проецирования $T: p_k \to p_k^t$ и положим, что $p_k^t \in R^l$ и $p_k \in R^n$, $l \le n$. Если ядро $T$ нетривиально и/или $l < n$, в результате часть информации будет утеряна. Модель $M$ предсказывает некоторые измерения $p_k^t$, используя остальные как входные данные. Для набора индексов входных измерений $I \subset N$ модель $M$ выдает набор приближений $p_o^{M(I)} \cong p_o^t$. Перенормируем измерения и прогнозы и используем безразмерные $\tilde{p}_k^t = p_k^t / p_a$, где $p_a$ – среднее измерение, и обозначим вводимую $\mathcal{T}$ метрику $d(\tilde{p}_1, \tilde{p}_2)$.

**Определение 1. Содержание знаний $C$ в модели $M$** явления $\Phi$, наблюдаемого через измерения $P$ с точки зрения теории $\mathcal{T}$, определяется как

$$C = \min_{\varepsilon} \mathbb{E}\left[d\left(\tilde{p}_o^{M(I)}, \tilde{p}_o^t + \varepsilon\right)^{-1}\right], \quad (1)$$

где $\mathbb{E}$ – матожидание и $\varepsilon \in R^l$.

Примем во внимание бритву Оккама в отношении размера модели [2] и дадим

**Определение 2.** Плотность знаний $D$ в модели $M$ явления $\Phi$ определяется как

$$D = \frac{C}{J(M)}, \quad (2)$$

где $C$ – содержание знаний модели $M$ и $J(M)$ – колмогоровская сложность [3] модели $M$.

Сложность разных явлений естественно различается. Чтобы сравнить эффективность моделей разных явлений, надо оценивать сложность явления, не моделируя его. Для этого применим универсальный алгоритм сжатия информации без потерь к измерениям $P$ и сравним сжатие с потерями с помощью модели $M$ со сжатием тех же данных без потерь. Чем лучше модель $M$, тем меньше будет отношение между размером данных после сжатия $M$ и алгоритмом сжатия общего назначения. Обозначим $\tilde{I}$ минимальный набор индексов входных измерений $P(\tilde{I})$, который позволяет $M$ предсказать все остальные измерения. Обозначим $G(X)$ размер объекта $X$, сжатого алгоритмом сжатия без потерь $G$, например, LZW [4].

**Определение 3. Знания $K$ модели $M$** явления $\Phi$ определяются как:

$$K = \frac{G(P)}{G\left(P(\tilde{I})\right) + G(M)}. \quad (3)$$

Значение $K$ независимо от $D$ и $C$.

***Литература***


1. Mikhaylovskiy N.: How Do You Test the Strength of AI? In: 13th International Conference AGI 2020. pp. 257–266.
2. Manin D.Yu. Science in a False Mirror: Lakatos, Feyerabend, Kuhn. In defense of science. (2008) No. 3. (In Russian)
3. Kolmogorov A.N. Three Approaches to the Quantitative Definition of Information. Problems Inform. Transmission. 1965. vol. 1 issue 1, pp. 1–7.
4. Ziv J., Lempel A. Compression of individual sequences via variable-rate coding. IEEE Transactions on Information Theory. 1978. vol. 24, issue 5, pp. 530.


## *Three Metrics of Knowledge*


Mikhaylovskiy N.
Higher IT School of Tomsk State University and NTR Labs, Tomsk, Russia
nickm@ntr.ai


Sentient agents, including humans, solve problems by building models. A model is an explanation of a phenomenon, that is, an assumption of the mechanism of how can it occur. When building a model, we take a point of view of some theory on the phenomenon, discarding irrelevant details. Each model has a limited domain of applicability. Within one theory, it is possible to build models of multiple phenomena. We call such type of knowledge a “Scientific-type knowledge” [1].

We want to measure the knowledge content of a model $M$ explaining a phenomenon $\Phi$ and pertaining to a theory $\mathcal{T}$. $\Phi$ manifests itself as finite precision measurements $P = \{p_1, p_2, \dots\}$. We consider the viewpoint of $\mathcal{T}$ to be a projection operator $T: p_k \to p_k^t$ and assume that $p_k^t \in R^l$ and $p_k \in R^n$, $l \leq n$. Some information is lost as a result of this projection if the kernel of $T$ is non-trivial and/or $l < n$. The model $M$ can predict some of the measurements $p_k^t$, using some others as an input. For a set of indices of input measurements $I \subset N$ the model $M$ produces a set of output

measurement approximations $p_o^{M(I)} \cong p_o^t$. We rescale the measurements and predictions and use dimensionless $\tilde{p}_k^t = p_k^t / p_a$, where $p_a$ is an average measurement and assume $\mathcal{T}$ implies a distance $d(\tilde{p}_1, \tilde{p}_2)$.

**Definition 1. Knowledge content $C$ of** a model $M$ of the phenomenon $\Phi$ observed through measurements $p_k$ from a viewpoint of a theory $\mathcal{T}$ is:

$$C = \min_{\varepsilon} \mathbb{E}\left[d\left(\tilde{p}_o^{M(I)}, \tilde{p}_o^t + \varepsilon\right)^{-1}\right], \quad (1)$$

where $\mathbb{E}$ is the expectation and $\varepsilon \in R^l$.

We take into account Occam's razor, especially as applied to the model size [2] and give

**Definition 2. Knowledge density $D$ of** a model $M$ of the phenomenon $\Phi$ is:

$$D = \frac{C}{J(M)}, \quad (2)$$

where $C$ is the knowledge content of $M$ and $J(M)$ is the Kolmogorov complexity [3] of $M$.

Some phenomena are naturally more complex than others are. To compare the efficiency of models of different phenomena, we want to measure the complexity of a phenomenon without specifically modelling it. To do so one can apply a general-purpose, lossless information compression algorithm to the measurements $P$ and compare the lossy compression by model $M$ with lossless compression of the same data. The better the model $M$ is, the smaller will be the ratio between the sizes of data compressed by $M$ and a general-purpose compression algorithm. Let's denote $\tilde{I}$ a minimal set of indices of input measurements that allows $M$ to produce outputs for all the other measurements, and $P(\tilde{I})$ the respective measurements. Let's denote $G(X)$ the size of object $X$ compressed by a general-purpose lossless compression algorithm $G$, such as LZW [4].

**Definition 3. Knowledge $K$ of** a model $M$ of the phenomenon $\Phi$ is:

$$K = \frac{G(P)}{G\left(P(\tilde{I})\right) + G(M)}. \quad (3)$$

$K$ defines a quantity that is independent from $D$ and $C$.

### *References*


1. Mikhaylovskiy N.: How Do You Test the Strength of AI? In: 13th International Conference AGI 2020. pp. 257–266.
2. Manin D.Yu. Science in a False Mirror: Lakatos, Feyerabend, Kuhn. In defense of science. (2008) No. 3. (In Russian)
3. Kolmogorov A.N. Three Approaches to the Quantitative Definition of Information. Problems Inform. Transmission. 1965. vol. 1 issue 1, pp. 1–7.
4. Ziv J., Lempel A. Compression of individual sequences via variable-rate coding. IEEE Transactions on Information Theory. 1978. vol. 24, issue 5, pp. 530.

# 知識的三個指標

Mikhaylovskiy N.
托木斯克國立大學高等 IT 學院和 NTR 實驗室，俄羅斯托木斯克
nickm@ntr.ai

包括人類在內的有感知能力的主體通過建立模型來解決問題。 模型是對現象的解釋，即對現像如何發生的機制的假設。 在建立模型時，我們從現象的某些理論角度出發，丟棄不相關的細節。 每個模型都有一個有限的適用範圍。 在一個理論中，可以建立多種現象的模型。 我們稱這類知識為“科學型知識”[1]。

我們想要測量解釋現象 $M$ 並與理論 $\Phi$ 相關的模型 $\mathcal{T}$ 的知識內容。 $\Phi$ 表現為有限精度測量 $P = \{p_1, p_2, \dots\}$ 我們考慮的觀點 $\mathcal{T}$ 成為一名投影操作員 $T: p_k \to p_k^t$ 並假設 $p_k^t \in R^l$ 和 $p_k \in R^n$, $l \leq n$. 如果內核 of $T$ 是不平凡的和/或 $l < n$. 該模型 $M$ 可以預測一些測量值 $p_k^t$, 使用其他一些作為輸入。 對於一組輸入測量指標 $I \subset N$ 該模型 $M$ 產生一組輸出測量近似值 $p_o^{M(I)} \cong p_o^t$. 我們重新調整測量和預測並使用無量綱 $\tilde{p}_k^t = p_k^t / p_a$, 在哪裡 $p_a$ 是平均測量值並假設 $\mathcal{T}$ 意味著距離 $d(\tilde{p}_1, \tilde{p}_2)$.

定義 1. 知識內容 $C$ 模型的 $M$ 現象的 $\Phi$ 通過測量觀察 $p_k$ 從理論的角度 $\mathcal{T}$ 是：

$$C = \min_{\varepsilon} \mathbb{E}\left[d\left(\tilde{p}_o^{M(I)}, \tilde{p}_o^t + \varepsilon\right)^{-1}\right] \tag{1}$$

其中 $\mathbb{E}$ 是期望，$\varepsilon \in R^l$.

我們考慮了奧卡姆剃刀原則，尤其是應用於模型尺寸 [2] 時，給出

定義 2. 知識密度 $D$ 模型的 $M$ 現象的 $\Phi$ 是：

$$D = \frac{C}{J(M)} \tag{2}$$

其中 $C$ 是 $M$的知識內容，$J(M$ 是 $M$ 的 Kolmogorov 的複雜性 [3] 的 $M$.

有些現象自然比其他現象更複雜。 為了比較不同現像模型的效率，我們希望在不專門建模的情況下測量現象的複雜性。 為此，可以對測量值 $P$應用通用的無損信息壓縮算法，並將模型 $M$ 的有損壓縮與相同數據的無損壓縮進行比較。 模型 $M$ 越好，$M$ 壓縮後的數據大小與通用壓縮算法的比值就越小。 讓我們表示 $\tilde{I}$ 一組最小的輸入測量指標，它允許 $M$ 為所有其他測量產生輸出，而 $P(\tilde{I})$ 表示相應的測量。 讓我們用通用無損壓縮算法 $G$ 壓縮對象 $X$ 的大小來表示 $G(X)$，例如 LZW [4]。

定義 3. 現象 $K$ 的模型 $M$ 的知識 $\Phi$ 是：

$$K = \frac{G(P)}{G\left(P(\tilde{I})\right) + G(M)} \tag{3}$$

$K$定義了一個獨立於 $D$ 和 $C$ 的量。

文學

1. Mikhaylovskiy N.: How Do You Test the Strength of AI? In: 13th International Conference AGI 2020. pp. 257–266.

2. Manin D.Yu. Science in a False Mirror: Lakatos, Feyerabend, Kuhn. In defense of science. (2008) No. 3. (In Russian)

3. Kolmogorov A.N. Three Approaches to the Quantitative Definition of Information. Problems Inform. Transmission. 1965. vol. 1 issue 1, pp. 1–7.

4. Ziv J., Lempel A. Compression of individual sequences via variable-rate coding. IEEE Transactions on Information Theory. 1978. vol. 24, issue 5, pp. 530.

DOI 10.18699/sblai2023-04

## *О трех проблемах доверительного искусственного интеллекта*

Нечесов А.В.
Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
nechesov@math.nsc.ru

На сегодняшний день проблема надежности и безопасности стоит очень остро в алгоритмах искусственного интеллекта (ИИ). Почти все существующие алгоритмы ИИ работают в централизованных средах. Это значит, что в любой момент тот, кто владеет доступом к этим алгоритмам, может изменить как сами алгоритмы, так и ту информацию и правила, с которыми они работают. Так же, как и для смарт-контрактов в децентрализованных средах [1], для алгоритмов ИИ существует проблема аудита. Очень часто код, который реализован, требует серьезных компетенций для их проверки и не всегда поддается тщательному анализу. Разработчик кода может оставить намеренно или непреднамеренно дырки в безопасности, что может привести к необратимым последствиям. Помимо этих двух проблем, существует еще одна важная проблема в ИИ – это проблема черного ящика ИИ. Когда интеллектуальное устройство представляет собой «черный ящик» и по входящим сигналам выдает только результат, но этот результат никак не объясняется. Все эти три проблемы очень сильно влияют на то, чтобы люди доверяли искусственному интеллекту.

В докладе исследуются вопросы применения методов семантического программирования [4, 5] в алгоритмах как объяснительного искусственного интеллекта (кратко XAI), так и в алгоритмах доверительного искусственного интеллекта (Trusted AI), которые исполняются в децентрализованных средах на основе блокчейн структур и смарт-контрактов [1]. Использование логического языка L* [2] позволяет нам полностью или частично заменять нейронные сети [3], работа которых не поддается человекопонятному объяснению, на специальные логико-вероятностные L*-программы, где каждый переход логически обоснован, прозрачен и понятен.

### *Литература*

1. Nechesov A.V., Safarov R.A. Web 3.0 and Smart Cities // Proceedings of the International Conference “Current State and Development Perspectives of Digital Technologies and Artificial Intelligence”, Samarkand, Uzbekistan, 2022.

2. Goncharov S.S., Nechesov A.V. Semantic programming for AI and Robotics // IEEE International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences. 2023;810-815. Doi 10.1109/SIBIRCON56155.2022.10017077.

3. Goncharov S.S., Nechesov A.V. Polynomial-Computable Representation of Neural Networks in Semantic Programming // J. 2023;6(1):48-57. Doi 10.3390/j6010004.

4. Goncharov S.S., Nechesov A.V. Solution of the problem P = L // Mathematics. 2022;10(1):113. Doi 10.3390/math10010113.

5. Goncharov S.S., Nechesov A.V. Polynomial analogue of Gandy's fixed point theorem // Mathematics. 2021;9(17):2102. Doi 10.3390/math9172102.

## *About three problems of trusted artificial intelligence*

Nechesov A.V.
Sobolev Institute of Mathematics of SB RAS, Novosibirsk, Russia
nechesov@math.nsc.ru

Today the problem of reliability and security is very acute in artificial intelligence algorithms. Almost all existing AI algorithms work in centralized environments. This means that at any moment whoever has access to these algorithms can change both the algorithms themselves, and the information and rules with which they operate. As well as for smart contracts in decentralized environments [1] there is an audit problem for AI algorithms. Very often the code that is implemented requires serious competencies to verify and is not always amenable to careful analysis. The code developer (intentionally or unintentionally) can leave holes in security, which can lead to irreversible consequences. In addition to these two problems, there is another important problem in AI: the AI Black Box Problem. When the intelligent device is a “black box” and the input signals give only the result, but this result is not explained. All three of these issues have a huge impact on how people can trust artificial intelligence.

The work explores the application of semantic programming methods [4, 5] in the algorithms of Explainable Artificial Intelligence (briefly XAI) and in the algorithms of Trusted Artificial Intelligence (Trusted AI) which are executed in decentralized environments based on blockchain structures and smart contracts [1]. The logical language L* [2] which is used allows us fully or partially to replace neural networks [3] whose operation is not amenable to human-understandable explanation, with special logical-probabilistic L*-programs where each transition is logical, transparent and understandable.

### *References*

1. Nechesov A.V., Safarov R.A. Web 3.0 and Smart Cities // Proceedings of the International Conference “Current State and Development Perspectives of Digital Technologies and Artificial Intelligence”, Samarkand, Uzbekistan, 2022.

2. Goncharov S.S., Nechesov A.V. Semantic programming for AI and Robotics // IEEE International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences. 2023;810-815. Doi 10.1109/SIBIRCON56155.2022.10017077.

3. Goncharov S.S., Nechesov A.V. Polynomial-Computable Representation of Neural Networks in Semantic Programming // J. 2023;6(1):48-57. Doi 10.3390/j6010004.

4. Goncharov S.S., Nechesov A.V. Solution of the problem P = L // Mathematics. 2022;10(1):113. Doi 10.3390/math10010113.

5. Goncharov S.S., Nechesov A.V. Polynomial analogue of Gandy's fixed point theorem // Mathematics. 2021;9(17):2102. Doi 10.3390/math9172102.

## 關於三個問題
## 值得信賴的人工智能

Nechesov A.V.
Sobolev 數學研究所，電子郵件：
nechesov@math.nsc.ru

今天，人工智能算法中的可靠性和安全性問題非常尖銳。 幾乎所有現有的人工智能算法都在集中式環境中工作。 這意味著任何時候有權訪問這些算法的人都可以更改算法本身，以及它們運行的信息和規則。 除了去中心化環境中的智能合約［1］之外，人工智能算法還存在審計問題。 通常，實施的代碼需要認真的能力來驗證，並不總是適合仔細分析。 代碼開發人員（有意或無意）可能會留下安全漏洞，從而導致不可逆轉的後果。 除了這兩個問題，AI 中還有一個重要的問題：AI 黑盒問題。 當智能設備是一個“黑盒子”，輸入信號只

給出結果，但不解釋這個結果。 所有這三個問題都對人們如何信任人工智能產生了巨大影響。

這項工作探索了語義編程方法 [4,5] 在可解釋人工智能（簡稱 XAI）算法和可信人工智能（Trusted AI）算法中的應用，這些算法在基於區塊鏈結構和智能合約的去中心化環境中執行[1]. 使用的邏輯語言 L* [2] 允許我們用特殊的邏輯概率 L* 程序完全或部分地替換其操作不符合人類可理解解釋的神經網絡 [3]，其中每個轉換都是邏輯的、透明的並且可以理解。

文學

1. Nechesov A.V., Safarov R.A. Web 3.0 and Smart Cities // Proceedings of the International Conference “Current State and Development Perspectives of Digital Technologies and Artificial Intelligence”, Samarkand, Uzbekistan, 2022.

2. Goncharov S.S., Nechesov A.V. Semantic programming for AI and Robotics // IEEE International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences. 2023;810-815. Doi 10.1109/SIBIRCON56155.2022.10017077.

3. Goncharov S.S., Nechesov A.V. Polynomial-Computable Representation of Neural Networks in Semantic Programming // J. 2023;6(1):48-57. Doi 10.3390/j6010004.

4. Goncharov S.S., Nechesov A.V. Solution of the problem P = L // Mathematics. 2022;10(1):113. Doi 10.3390/math10010113.

5. Goncharov S.S., Nechesov A.V. Polynomial analogue of Gandy's fixed point theorem // Mathematics. 2021;9(17):2102. Doi 10.3390/math9172102.

DOI 10.18699/sblai2023-05

## *Non-MapReduce computing for intelligent analysis of Big Data*

Huang Joshua Zhexue
Big Data Institute, Shenzhen University, China
zx.huang@szu.edu.cn

MapReduce is the most widely used programming model for distributed computing that runs on clusters and clouds. However, when a highly iterative intelligent algorithm implemented in MapReduce runs on a cluster to analyze a big dataset, say in terabytes, it will suffer from the problems of computing inefficiency and data unscalability due to the high costs of data communications between the nodes. To conquer these problems, we propose a Non-MapReduce distributed computing paradigm that can run an iterative algorithm on the nodes of a cluster independently and in parallel without the needs of data communication between the nodes. As a big benefit to industry, it removes the burden for reprogramming sequential algorithms in MapReduce. The Non-MapReduce distributed computing paradigm is enabled by the random sample partition (RSP) data model, the data analysis methods using multiple random samples, and the ensemble learning model. In this talk, I will introduce these new approaches which can make big data computing technologies computationally efficient, scalable to big data, directly execute sequential algorithms in parallel and distributed fashion, and analyze big data without memory limit.

## 非 MapReduce 計算大數據智能分析

Huang Joshua Zhexue
黃哲學博士
特聘教授
大數據研究所所長
中國深圳大學
zx.huang@szu.edu.cn

MapReduce 是在集群和雲上運行的分佈式計算使用最廣泛的編程模型。 然而，當 MapReduce 中實現的高度迭代的智能算法在集群上運行以分析大數據集時，例如 TB 級別的數據集，由於節點之間的數據通信成本高，它會遇到計算效率低下和數據不可擴展的問題。 為了克服這些問題，我們提出了一種非 MapReduce 分佈式計算範式，可以在集群的節點上獨立並行地運行迭代算法，而無需節點之間的數據通信。 作為對行業的一大好處，它消除了在 MapReduce 中重新編程順序算法的負擔。 非 MapReduce 分佈式計算範式由隨機樣本分區（RSP）數據模型、使用多個隨機樣本的數據分析方法和集成學習模型啟用。 在本次演講中，我將介紹這些新方法，它們可以使大數據計算技術具有計算效率，可擴展到大數據，直接以並行和分佈式方式執行順序算法，並在不受內存限制的情況下分析大數據。

DOI 10.18699/sblai2023-06

***A formalization of Cognitive behavioral therapy in logic based on modal reasoning***

Ilić Stepić A.*, Ognjanović Z.**
Mathematical Institute of the Serbian Academy of Sciences and Arts,
Belgrade, Serbia
* angelina@mi.sanu.ac.rs, ** zorano@mi.sanu.ac.rs

Cognitive behavioral therapy (CBT) is a common type of talk therapy based on assumption/fact that emotions primarily result from our thoughts, and hence we can release from negative (dysfunctional) emotions by changing our way of reasoning. This therapy has made great successes in treatment of variety of emotional psychological and psychiatric di_culties (Panic, Obsessive Compulsive Disorder, Phobias, Post-traumatic Stress Disorder, Depression, Eating disorders, Sexual Dysfunction, Social Anxiety, Anger and Stress Management, Child behavior problems etc.). Using the fact that the principles of CBT already relay on correct logical cogitation, we construct the logic LCBT that formalizes those principles by introducing operators for expression of human desires and putting them in the frame of modal reasoning.

Since it turned out that Kripke worlds naturally present all possible circumstances which one can experience, we use Kripke-like models as corresponding semantics and give sound and complete axiomatic system. It is proved that the corresponding satis_ability and validity problems are decidable.

認知行為療法的形式化
在基於模態推理的邏輯中

Ilić Stepić A.*, Ognjanović Z.**
安吉麗娜・伊利奇・斯特皮奇，佐蘭・奧格尼亞諾維奇
塞爾維亞科學與藝術學院數學研究所
貝爾格萊德，塞爾維亞
* angelina@mi.sanu.ac.rs, ** zorano@mi.sanu.ac.rs

抽象的。 認知行為療法（CBT）是一種常見的談話療法，它基於以下假設/事實：情緒主要來自我們的思想，因此我們可以通過改變我們的推理方式來釋放消極（功能失調）的情緒。 該療法在治療各種情緒心理和精神疾病（恐慌症、強迫症、恐懼症、創傷後應激障礙、抑鬱症、進食障礙、性功能障礙、社交焦慮、憤怒和壓力管理、兒童行為問題）方面取得了巨大成功 etc。）。 利用 CBT 的原則已經依賴於正確的邏輯思考這一事實，我們構建了邏輯 LCBT，通過引入用於表達人類慾望的運算符並將它們置於模態推理的框架中，將這些原則形式化。 由於事實證明克里普克世界自然地呈現了人們可能經歷的所有可能情況，因此我們使用類克里普克模型作為相應的語義，並給出了完善的公理化體系。 證明相應的

可滿足性和有效性問題是可判定的。

DOI 10.18699/sblai2023-07

***BioGraph: Data framework for linking and querying diverse biological metadata***

Veljković A.N.*, Mitić N.S.
University of Belgrade, Faculty of Mathematics, Belgrade, Serbia
* aleksandar.veljkovic@matf.bg.ac.rs

Associating biological data from different sources provides a holistic view of a domain and enables finding patterns in data that are otherwise difficult or impossible to observe by only analyzing isolated biological entities. The key issues for creating connections between data objects are the variety of biological data formats, data organization schemas, and data access methods. Connecting data from different databases can be challenging, as an entity from one database may not have the same properties or identifiers as the same entity described in another database. While some databases contain a variety of entity identifiers from various databases, the search is limited to exact property matching, and complex queries using multiple metadata attributes are not possible.

To overcome these issues, we introduce BioGraph – a novel data framework that enables linking and retrieving information from heterogeneous interconnected biological data. We tested the model and generated a knowledge graph using metadata from five distinct public datasets, DisProt [1], HGNC [2], Tantigen 2.0 [3], IEDB [4] and DisGeNET [5]. The resulting graph interconnects more than 17 million nodes, of which 2.5 million individual biological entity objects with over 4 million relationships. The software system allows searching and retrieving patterns and retrieving matching results from the knowledge graph using a user-friendly interface.

Numerous efforts are underway to join data from various datasets into a knowledge graph. However, the solutions currently available tend to concentrate on specific subdomains, such as proteomics and drug discovery, rather than on the comprehensive integration of biological data across different domains. We propose a novel model that facilitates simultaneous querying of biological data attributes from multiple datasets by leveraging the metadata available in the original databases. Our model aims not to replicate the data from the original datasets but to establish links between the metadata that can be utilized to efficiently execute complex queries on interconnected data. This model allows for the incorporation of properties into entities and relations and the integration of metadata from diverse data formats. To complement our model, we have developed a tool and a web interface which enables creating graphical queries in a user-friendly manner as well as exporting the query results into downloadable files. The tool and corresponding packages can be deployed locally as a standalone system, enabling offline execution of queries.

### *References*

1. Vucetic S., Obradovic Z., Vacic V., Radivojac P., Peng K., Iakoucheva L.M., Cortese M.S., Lawson J.D., Brown C.J., Sikes J.G. et al. DisProt: a database of protein disorder. Bioinformatics. 2004;21:137-140.4.

2. Seal R.L., Braschi B., Gray K., Jones T.E., Tweedie S., Haim-Vilmovsky L., Bruford E.A. Genenames. org: the HGNC resources in 2023. Nucleic Acids Research. 2023;51:D1003-D1009.

3. Zhang G., Chitkushev L., Olsen L.R., Keskin D.B., Brusic V. TANTIGEN 2.0: a knowledge base of tumor T cell antigens and epitopes. BMC Bioinformatics. 2021;22:1-8.

4. IEDB. Retrieved from http://www.iedb.org. Accessed: 2023-02-06.

5. Piñero J., Juan Manuel R.A., Josep Saüch-Pitarch F.R., Emilio Centeno F.S., Furlong L.I. The DisGeNET knowledge platform for disease genomics: 2019 update. Nucl. Acids Res. 2019. Doi 10.1093/nar/gkz1021.

BioGraph：鏈接和查詢不同生物元數據的數據框架

Veljković A.N.*, Mitić N.S.
[1] 貝爾格萊德大學數學學院，貝爾格萊德，塞爾維亞

* aleksandar.veljkovic@matf.bg.ac.rs

關聯來自不同來源的生物數據提供了一個領域的整體視圖，並能夠在數據中找到模式，而這些模式很難或不可能通過僅分析孤立的生物實體來觀察。 在數據對象之間創建連接的關鍵問題是生物數據格式、數據組織模式和數據訪問方法的多樣性。 連接來自不同數據庫的數據可能具有挑戰性，因為來自一個數據庫的實體可能與另一個數據庫中描述的同一實體不具有相同的屬性或標識符。 雖然一些數據庫包含來自各種數據庫的各種實體標識符，但搜索僅限於精確的屬性匹配，並且無法使用多個元數據屬性進行複雜查詢。

為了克服這些問題，我們引入了 BioGraph 一 種新穎的數據框架，可以從異構互連的生物數據中鏈接和檢索信息。 我們測試了該模型並使用來自五個不同公共數據集 DisProt [1]、HGNC [2]、Tantigen 2.0 [3]、IEDB [4] 和 DisGeNET [5] 的元數據生成了知識圖。生成的圖形將超過 1700 萬個節點互連起來，其中 250 萬個單獨的生物實體對象具有超過 400 萬個關係。 該軟件系統允許搜索和檢索模式，並使用用戶友好的界面從知識圖中檢索匹配結果。

文學

1. Vucetic S., Obradovic Z., Vacic V., Radivojac P., Peng K., Iakoucheva L.M., Cortese M.S., Lawson J.D., Brown C.J., Sikes J.G. et al. DisProt: a database of protein disorder. Bioinformatics. 2004;21:137-140.4.

2. Seal R.L., Braschi B., Gray K., Jones T.E., Tweedie S., Haim-Vilmovsky L., Bruford E.A. Genenames. org: the HGNC resources in 2023. Nucleic Acids Research. 2023;51:D1003-D1009.

3. Zhang G., Chitkushev L., Olsen L.R., Keskin D.B., Brusic V. TANTIGEN 2.0: a knowledge base of tumor T cell antigens and epitopes. BMC Bioinformatics. 2021;22:1-8.

4. IEDB. Retrieved from http://www.iedb.org. Accessed: 2023-02-06.

5. Piñero J., Juan Manuel R.A., Josep Saüch-Pitarch F.R., Emilio Centeno F.S., Furlong L.I. The DisGeNET knowledge platform for disease genomics: 2019 update. Nucl. Acids Res. 2019. Doi 10.1093/nar/gkz1021.

# Подсекция «Задачный подход к искусственному интеллекту»

DOI 10.18699/sblai2023-08

## *Система поддержки принятия решений для волновых методов неразрушающего контроля зданий и сооружений*

Болдырев И.А.[1], Свириденко Д.И.[2], Федин К.В.[3], Рофе А.Р.[1], Гриценко А.А.[1]
[1] Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия,
[2] Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск, Россия,
[3] Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия,
i.boldyrev@nsu.ru, dsviridenko47@gmail.com, fedin.konstantin@gmail.com, a.rofe@nsu.ru, a.gritsenko3@g.nsu.ru

Известно, что в любом инженерном сооружении или здании распространение сейсмических колебаний приводит к формированию стоячих волн, частоты которых являются собственными для данного сооружения.

При возникновении дефектов в сооружении или в основании, при изменении напряженно-деформированного состояния формы собственных колебаний и собственные частоты меняются [1].

Для классификации и локализации аномальных зон в конструкции требуется применение систем поддержки принятия решений, опирающихся на логико-семантический подход [2, 3].

Система поддержки принятия решений (СППР) для определения состояния объекта будет ориентирована на сопровождение и поддержку принятия решений при автоматизированном решении задачи микросейсмической диагностики зданий и сооружений с использованием цифрового волнового двойника объекта (ЦВДО), базирующего на применении технологии искусственных нейронных сетей. Для формирования ЦВДО применяются модификаторы (дефекты), являющиеся причиной возникновения аномальных зон в конструкции.

Сразу же отметим, что речь пока будет идти о СППР, ориентированной на анализ и принятие решений, касающихся исключительно стандартных панельных зданий.

Специализированная инструментальная часть СППР, ответственная за генерацию и хранение обучающего DataSet (Датасет) для ЦВДО как совокупности моделей объектов с тем или иным модификатором, представлена в виде последовательности следующих преобразований:

Модель объекта + модификатор → расчетный модуль (РАСЧЕТ) → пара < карта ожидаемых сейсмических волн (КОСМ), модификатор (М)> DataSet.

В данном случае СППР ответственна за передачу ЦВДО реальных измеренных данных об объекте в виде карты реальных стоячих волн (КРСВ). Здесь одной из центральных задач является задача корректности измерений. В общем случае алгоритм определения корректности измерений анализируемого объекта выглядит следующим образом. Входными данными для алгоритма будут:

1) карты первых мод по трем взаимно ортогональным компонентам (X, Y, Z), построенные на основе полевых наблюдений на объекте исследований;

2) координаты точек наблюдения и данные амплитуд по трем взаимно ортогональным компонентам (X, Y, Z) для каждой точки наблюдения;

3) карты первых мод по трем взаимно ортогональным компонентам (X, Y, Z), построенные на основе математического моделирования собственных колебаний объекта исследования (модельные данные).

Результатом же работы алгоритма будут:

1) карты реальных сейсмических данных, скорректированные путем исключения данных некорректных измерений в точках наблюдения;

2) выдача рекомендации по проведению повторных измерений в отбракованных точках.

***Литература***

1. Колесников Ю.И., Федин К.В. Применение пассивного метода стоячих волн в инженерной сейсмике: физическое моделирование и натурный эксперимент. Технологии сейсморазведки. 2016;2:83-91.

2. Гончаров С.С., Свириденко Д.И. Проблемы цифровизации и семантическое моделирование. Материалы XII мультиконференции по проблемам управления, 23-28 сентября 2019 г., Дивноморское, Геленджик. Том 1. С. 16-19.

3. Goncharov S.S., Sviridenko D.I. Recursive Terms in Semantic Programming. Siberian Mathematical Journal. 2018;59(6):1014-1023.

## *Decision support system for wave methods of non-destructive testing of buildings and structures*

Boldyrev I.A.[1], Sviridenko D.I.[2], Fedin K.V.[3], Rofe A.R.[1], Gritsenko A.A.[1]

[1] Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

[2] Siberian State University of Telecommunications and Information Science, Novosibirsk, Russia

[3] Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of SB RAS, Novosibirsk, Russia

i.boldyrev@nsu.ru, dsviridenko47@gmail.com, fedin.konstantin@gmail.com, a.rofe@nsu.ru, a.gritsenko3@g.nsu.ru

It is known that in any engineering structure or building the propagation of seismic vibrations leads to the formation of standing waves, the frequencies of which are natural for the structure.

With the appearance of defects in the structure or in the base, with a change in the stress-strain state, the forms of natural vibrations and natural frequencies change [1].

The classification and localization of anomalous zones in the structure requires the use of decision support systems, based on the logical-semantic approach [2, 3].

Decision Support System (DSS), to determine the state of the object will be focused on support and decision-making support for automated solution of the problem of microseismic diagnostics of buildings and structures using digital wave twin object, based on the use of artificial neural network technology. The modifiers (defects), which are the cause of the anomalous zones in the structure, are used to form the digital wave twin object.

Immediately note that for the time being, we will be talking about the DSS, oriented to the analysis and decision making, concerning exclusively standard panel buildings.

The specialized instrumental part of the DSS, responsible for generation and storage of the training DataSet for the DSS as a set of object models with a particular modifier, is represented as a sequence of the following transformations:

Object model+modifier → calculation module → pair <map of expected seismic waves, modifier (M)> DataSet.

In this case, the DSS is responsible for transmitting the real digital wave twin object measured data about the object in the form of a real standing wave map. Here, one of the central tasks is the problem of measurement correctness. In the general case, the algorithm for determining the correctness of measurements of the analyzed object looks as follows. The input data for the algorithm will be:

(1) Maps of the first modes for the three mutually orthogonal components (X, Y, Z), constructed on the basis of field observations at the research object;

(2) Coordinates of observation points and amplitude data by three mutually orthogonal components (X, Y, Z) for each observation point;

(3) Maps of first modes on three mutually orthogonal components (X, Y, Z), constructed on the basis of mathematical modeling of natural vibrations of the research object (model data).

The result of the algorithm will be:

(1) Corrected maps of real seismic data, by excluding data of incorrect measurements at the observation points.

(2) Recommendation to repeat measurements at discarded points.

***References***

1. Kolesnikov Y.I., Fedin K.V. Application of passive standing wave method in engineering seismics: physical modelling and field experiment. Seismic Survey Technologies. 2016;2:83-91.

2. Goncharov S.S., Sviridenko D.I. Problems of digitalization and semantic modeling. Proceedings of the XII multi-conference on management problems, September 23-28, 2019, Divnomorskoye, Gelendzhik, Vol. 1, P. 16-19.

3. Goncharov S.S., Sviridenko D.I. Recursive Terms in Semantic Programming. Siberian Mathematical Journal. 2018;59(6):1014-1023.

建築物和結構物無損檢測波方法的決策支持系統

Boldyrev I.A.[1], Sviridenko D.I.[2], Fedin K.V.[3], Rofe A.R.[1], Gritsenko A.A.[1]

[1] NSU, Novosibirsk, Russia

[2] SibSUTIS, Novosibirsk, Russia

[3] IPGG SB RAS, Novosibirsk, Russia

i.boldyrev@nsu.ru, dsviridenko47@gmail.com, fedin.konstantin@gmail.com, a.rofe@nsu.ru, a.gritsenko3@g.nsu.ru

眾所周知，在任何工程結構或建築物中，地震振動的傳播導致駐波的形成，駐波的頻率對於該結構是自然的。

當結構或基礎出現缺陷時，當應力-應變狀態發生變化時，自然振動和自然頻率的形式發生變化［1］。

結構中異常區域的分類和定位需要使用基於邏輯語義方法的決策支持系統（DSS）[2，3]。

用於確定對象狀態的決策支持系統（DSS）將重點支持和支持使用對像數字波雙胞胎(CVDO) 自動解決建築物和結構微震診斷問題的決策制定，基於關於人工神經網絡技術的使用。 改性劑（缺陷）用於形成 CVDO，這是結構中出現異常區域的原因。

我們立即註意到，目前我們將討論 DSS，重點關注專門針對標準面板建築的分析和決策。

DSS 的專用工具部分負責為 CVDO 生成和存儲訓練“數據集”（數據集）作為一組具有一個或另一個修飾符的對像模型，呈現為以下轉換的序列：

對像模型+修改器-->計算模塊（CALCULATION）-->對<預期地震波圖（COSM），修改器（M）>DataSet。

在這種情況下，DSS 負責以真實駐波（RSW）地圖的形式將關於物體的真實測量數據傳輸到 CVDO。 在這裡，中心任務之一是測量正確性問題。 在一般情況下，用於確定被分析對象的測量正確性的算法如下。 該算法的輸入數據將是：

1）三個相互正交分量（X、Y、Z）的第一模式圖，
建立在研究對象的實地觀察的基礎上；

2）每個觀測點的三個相互正交分量（X，Y，Z）的觀測點坐標和幅度數據；

3）三個相互正交分量（X、Y、Z）的第一模式圖，
建立在研究對象（模型數據）自然振蕩的數學模型的基礎上；

該算法的結果將是：

1）修正了真實地震數據圖，消除了觀測點不正確測量的數據。

2）發布關於在拒絕點重複測量的建議。

文學
1. Kolesnikov Y.I., Fedin K.V. Application of passive standing wave method in engineering seismics: physical modelling and field experiment. Seismic Survey Technologies. 2016;2:83-91.
2. Goncharov S.S., Sviridenko D.I. Problems of digitalization and semantic modeling. Proceedings of the XII multi-conference on management problems, September 23-28, 2019, Divnomorskoye, Gelendzhik, Vol. 1, P. 16-19.
3. Goncharov S.S., Sviridenko D.I. Recursive Terms in Semantic Programming. Siberian Mathematical Journal. 2018;59(6):1014-1023.

DOI 10.18699/sblai2023-09

## *Задачный подход к искусственному интеллекту и теория функциональных систем работы мозга*

Витяев Е.Е.
Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
vityaev@math.nsc.ru

Петр Кузьмич Анохин хотел распространить теорию функциональных систем (ТФС) на различные предметные области, считая принципы ТФС достаточно общими. Он был совершенно прав, поскольку точно сформулированные принципы работы функциональных систем подпадают под понятие «задача», и тогда ТФС является теорией решения, мозгом задач по удовлетворению потребностей в целенаправленном повелении. Важнейшим понятием ТФС является понятие акцептора результатов действия, которое в задачном подходе формулируется как критерий решенности задач. Задачный подход считает, что задача осмысленна тогда и только тогда, когда есть критерий решенности задачи, с помощью которого для каждого предъявляемого решения задачи можно определить, является ли оно решением задачи или нет.

Совместное формулирование запроса к задаче (вопроса, на который требуется получить ответ) к модели предметной области, к которой относится вопрос; критерия решенности задачи – действительно ли полученный ответ на вопрос/запрос является решением задачи или нет, а также метода вычисления ответа на запрос/вопрос, определяют смысл и содержание задачи.

Определение целенаправленного поведения в ТФС с информационной точки зрения можно рассматривать как решение мозгом задачи по удовлетворению некоторой потребности в данном окружении. Аналогом понятия задачи для целенаправленного поведения является понятие цели. Цель нельзя достичь, не имея критерия ее достижения, иначе всегда можно считать, что цель уже достигнута. При постановке цели критерием ее достижения является определяемый в ТФС акцептор результатов действия. Цель без акцептора результатов действия бессмысленна.

Понятие цели парадоксально – цель ничего не говорит о том, как ее достичь. Для того чтобы знать, как можно ее можно достичь, нужен опыт. Если нет никаких знаний и опыта, то поведение организуется методом проб и ошибок, который в данном случае является единственно возможным. Опыт складывается из полученных методом проб и ошибок случаев достижения цели. На основании полученного опыта выбирается один из способов достижения цели, который предвосхищает достижение цели и удовлетворит акцептор результатов действия. Эти предвосхищения определяют также способы (последовательности действий), которыми можно достичь цели. Оценивая эмоциями различные способы достижения, принимается решение и выбирается один из них, который наиболее вероятно и с наименьшими затратами приведет к цели. Это осуществляется эмоциями на стадии принятия решений. Эмоции, в соответствии с информационной теорией эмоций П.В. Симонова, оценивают не только значимость для организма достигаемой цели, но и вероятность ее достижения. Эмоции с информационной точки зрения формализуются

вероятностями достижения цели или функциями полезности.

Функциональная система как задача ставит перед организмом цель (запрос) удовлетворить некоторую потребность методом целенаправленного поведения в данной обстановке (предметной области), используя знания, полученные в результате опыта, и которая (запрос) будет удовлетворять определенному критерию – удовлетворит потребность.

Более детальное изложение данной информационной модели функциональных систем изложено в работах [1, 2], а компьютерное моделирование – в [3].

***Литература***

1. Витяев Е.Е. Логика работы мозга // Подходы к моделированию мышления. Под ред. В.Г. Редько. М., 2014;120-153.

2. Витяев Е.Е., Гончаров С.С., Свириденко Д.И. О задачном подходе к искусственному интеллекту // Сибирский философский журнал. 2019;17(4):5-25.

3. Демин А.В., Витяев Е.Е. Логическая модель адаптивной системы управления // Нейроинформатика. 2008;3(1):79-107.

## *A task-based approach to artificial intelligence and theory of functional systems of the brain*

Vityaev E.E.
Sobolev Institute of Mathematics of SB RAS, Novosibirsk, Russia
vityaev@math.nsc.ru

Pyotr Kuzmich Anokhin wanted to extend the Theory of Functional Systems (TFS) to various subject areas, considering the principles of TFS to be quite general. He was absolutely right, since precisely formulated principles of functional systems fall under the concept of a task, and then the TFS is a theory of solving brain problems to meet the needs of purposeful command. The most important concept of TFS is the concept of the acceptor of the results of an action, which in the task approach is formulated as a criterion for solving problems. The task approach considers that a task is meaningful if and only if there is a criterion for solving the task, with the help of which it is possible to determine for each presented solution of the task whether it is a solution to the task or not.

The joint formulation of the request to the task (the question to which you want to get an answer) to the model of the subject area to which the question relates; the criteria for solving the task – whether the received answer to the question/request is really a solution to the problem or not, as well as the method of calculating the answer to the request/question determine the meaning and content of the task.

The definition of purposeful behavior in the TFS from an informational point of view can be considered as brain solutions to the problem of satisfying some need in this environment. An analogue of the concept of a task for purposeful behavior is the concept of a Goal. The goal cannot be achieved without having a criterion for its achievement, otherwise it can always be assumed that the goal has already been achieved. When setting a goal, the criterion for achieving it is, defined in the TFS, the acceptor of the results of the action. A goal without an acceptor of the results of an action is meaningless.

The concept of a goal is paradoxical – the goal says nothing about how to achieve it. In order to know how it can be achieved, you need experience. If there is no knowledge and experience, then the behavior is organized by the method of “trial and error”, which in this case is the only possible. The experience consists of the cases of achieving the goal obtained by the method of “trial and error”. Based on the experience gained, one of the ways to achieve the goal is chosen, which anticipates the achievement of the goal and will satisfy the acceptor of the results of the action. These anticipations also determine the ways (sequences of actions) by which the goal can be achieved. Evaluating the various ways of achieving with emotions, a decision is made and one of them is chosen, which is most likely and with the least cost will lead to the goal. This is carried out by emotions at the decision-making stage. Emotions, in accordance with P.V. Simonov's information theory of emotions, evaluate not only the significance for the organism of the goal

being achieved, but also the probability of its achievement. Emotions from an informational point of view are formalized by the probabilities of achieving a goal or utility functions.

A functional system as a task sets before the organism a goal (request) to satisfy a certain need by the method of purposeful behavior in a given situation (subject area), using the knowledge gained as a result of experience and which (request) will satisfy a certain criterion – will satisfy the need. A more detailed presentation of this information model of functional system is described in [1, 2] and computer modeling in [3].

***References***

1. Vityaev E.E. Logic of brain work // Approaches to modeling thinking. Ed. by V.G. Redko. M., 2014;120-153.
2. Vityaev E.E., Goncharov S.S., Sviridenko D.I. About the problem approach to artificial intelligence // Siberian Philosophical Journal. 2019;17(4):5-25.
3. Demin A.V., Vityaev E.E. Logical model of adaptive control system // Neuroinformatics. 2008;3(1):79-107.

## 人工智能的任務方法和大腦功能係統理論

Vityaev E.E.
IM SB RAS，新西伯利亞，俄羅斯
vityaev@math.nsc.ru

Petr Kuzmich Anokhin 希望將功能係統理論 (TFS) 擴展到各個學科領域，因為 TFS 的原理非常普遍。 他是完全正確的，因為功能係統運行的精確制定原則屬於任務的概念，然後 TFS 是大腦解決問題以滿足有目的命令的需要的理論。 TFS 最重要的概念是行動結果接受者的概念，在任務方法中，它被表述為解決問題的標準。 任務方法認為，當且僅當存在解決問題的標準時，任務才有意義，借助該標準，對於每個提出的問題解決方案，都可以確定它是否是問題的解決方案或不是。

對任務（你想得到答案的問題）的請求與問題所屬主題領域的模型聯合製定； 解決問題的標準——收到的問題/請求的答案是否真的是問題的解決方案，以及計算查詢/問題答案的方法決定了問題的意義和內容。

從信息的角度來看，TFS 中目標導向行為的定義可以被認為是大腦在給定環境中滿足特定需求的任務解決方案。 有目的的行為的任務概念的類比是目標的概念。 沒有實現目標的標準就不能實現目標，否則總可以認為目標已經實現。 設定目標時，實現目標的標準是 TFS 中定義的行動結果的接受者。 沒有行動結果接受者的目標是沒有意義的。

目標的概念是自相矛盾的——目標沒有說明如何實現它。 需要經驗才能知道如何實現。 如果沒有知識和經驗，那麼行為就是通過“試錯法”來組織的，在這種情況下這是唯一可能的方法。 經驗是由實現目標的“試錯”案例所獲得的案例組成的。 根據所獲得的經驗，選擇一種實現目標的方法，該方法預期目標的實現並使行動結果的接受者滿意。 這些預期還決定了實現目標的方式（行動順序）。 評估通過情緒實現的各種方法，做出決定並選擇其中一種，這將最有可能並以最低的成本實現目標。 這是在決策階段通過情緒進行的。 情緒，根據情緒信息論 P.V. Simonov，不僅要評估實現目標對身體的重要性，還要評估實現目標的可能性。 從信息的角度來看，情緒是由實現目標或效用函數的概率形式化的。

作為一項任務的功能係統為有機體設定了一個目標（請求），通過在給定情況（主題領域）中有目的的行為的方法，使用從經驗中獲得的知識來滿足特定的需要，這些（請求）將滿足一定的標準——滿足需要 [1, 2] 中更詳細地介紹了功能係統的信息模型，[3] 中介紹了計算機建模。

文學

1. Vityaev E.E. Logic of brain work // Approaches to modeling thinking. Ed. by V.G. Redko. M. 2014;120-153.
2. Vityaev E.E., Goncharov S.S., Sviridenko D.I. About the problem approach to artificial intelligence // Siberian

Philosophical Journal. 2019;17(4):5-25.
3. Demin A.V., Vityaev E.E. Logical model of adaptive control system // Neuroinformatics. 2008;3(1):79-107.

DOI 10.18699/sblai2023-10

## *Цифровая трансформация с применением ИИ и информационная безопасность*

Гумиров В.Ш.
Группа Eyeline.mobi, АНО «Кластер ИИ» (AI-Cluster.ru), Новосибирск, Россия
vit@eyeline.mobi

В последние годы наблюдается активизация организаций в области цифровой трансформации, под которой часто понимаются интеграция существующих решений в области автоматизации, внедрение систем поддержки принятия решений и систем автоматического принятия решений уровня предприятия на основе средств ИИ и анализа больших данных, омниканальное взаимодействие с пользователями, в том числе через коммуникационные каналы, неподконтрольные предприятиям, такие как мобильная связь и домашний интернет, интеграция с ИТ системами контрагентов посредством API через публичные сети. В то же время это создает новые вызовы в области информационной безопасности и надежности информационных систем: увеличивается поверхность атаки информационных систем, повышается сложность ИТ систем за счет интеграции с ПО, разработанным третьими сторонами, в том числе ПО с открытым исходным кодом. Для предотвращения подобных рисков многие государства ужесточают требования в области ИБ.

Реализовать в ручном режиме эффективный контроль за исполнением регуляторных требований не представляется возможным: жизненный цикл ПО существенно отличается от жизненного цикла аппаратных решений. Циклы внесения изменений в ПО, в отличие от аппаратных решений, могут быть очень частыми – несколько раз в месяц, а то и в неделю.

Система тотального тестирования и контроля требований в области ИБ при столь частых изменениях по себестоимости реализации может быть сравнима, а то и превышать стоимость реализации самой информационной системы. Один из подходов к решению этих проблем заключается в применении методов модельно-ориентированного подхода (MBSE – Model Bases System Engineering), который изначально был разработан и применяется для реализации аппаратных систем. Особенность этого подхода заключается в реализации целевой системы на основе ее цифровой модели (цифровые двойники/тени).

Наша группа успешно занимается уже более 10 лет разработкой новых методов и технологических подходов на основе MBSE в области инженерии больших программных и информационных систем для индустрии телекоммуникаций, финансового и банковского секторов. В качестве научной основы мы выбрали наработки в области прикладной математической логики: семантическое программирование и исполнимые спецификации, логико-вероятностные методы и алгоритм Discovery, теорию нечетких моделей и семантические предметно-ориентированные языки (sDSL).

### *Литература*

1. Goncharov S.S., Sviridenko D.I. Σ-Programming Amer. Math. Soc. Transl. (2) Vol. 142, 1989. Available online: (https://goo.gl/QcocUc)
2. Goncharov S.S., Sviridenko D.I. Mathematical foundations of semantic programming. Dokl. Akad. Nauk SSSR. 1986;289(6):1324-1328.
3. Gumirov V., Matyukov P. Method for presenting information when conducting distributed transactions and structure for implementing same, US Patent US9226154B2. https://patents.google.com/patent/US9226154B2
4. Gumirov V.S., Matyukov P.Y., Palchunov D.E. Semantic Domain-specific Languages. In: 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), Novosibirsk, Russia, 21-27 Oct. 2019. IEEE Press, 2019. P. 0955-0960. https://ieeexplore.ieee.org/document/8958237
5. Gumirov V., Palchunov E. System and method for selection of content for displaying to user, RU Patent RU2595530C1, patents.google.com/patent/RU2595530C1.
6. Palchunov D.E., Yakhyaeva G.E. Integration of Fuzzy Model Theory and FCA for Big Data Mining 2019

International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). https://ieeexplore.ieee.org/document/8958216/

7. Goncharov S., Sviridenko D. Semantic Modeling and Hybrid Models 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). https://ieeexplore.ieee.org/document/8958196/

8. Pal'chunov D.E., Yakhyaeva G.E. Fuzzy logics and fuzzy model theory. Algebra and Logic. 2015;54(1):74-80. Doi 10.1007/s10469-015-9326-9.

9. Pal'chunov D.E., Yakhyaeva G.E. Interval Fuzzy Algebraic Systems. In: Mathematical Logic in Asia. Proceedings of the 9th Asian Logic Conference'05, World Scientific Publishers. 2006;191-202. https://www.semanticscholar.org/paper/INTERVAL-FUZZY-ALGEBRAIC-SYSTEMS-Palchunov-Yakhyaeva/f6f0c063885c805e0b2c7f9e257330980e5d1cb7

10. Probabilistic Dynamic Logic of Phenomena and Cognition Evgenii Vityaev; Boris Kovalerchuk; Leonid Perlovsky; Stanislav Smerdov. The 2010 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). https://ieeexplore.ieee.org/document/5596833/

11. Vityaev E., Kovalerchuk B. Ontological Data Mining. Uncertainty Modeling : Dedicated to Professor Boris Kovalerchuk on his Anniversary. Studies in Computational Intelligence 683, V. Kreinovich (ed.), Springer, 2017;277-292. http://www.math.nsc.ru/AP/ScientificDiscovery/PDF/relational_methodology_paper.pdf

12. Vityaev E.E., Demin A.V. Cognitive architecture based on the functional systems theory. Procedia Computer Science 145C. 2018;623-628. http://www.math.nsc.ru/AP/ScientificDiscovery/PDF/cognitive_architecture.pdf

13. Vityaev E.E. A formal model of neuron that provides consistent predictions. Biologically Inspired Cognitive Architectures 2012. Proceedings of the Third Annual Meeting of the BICA Society (A. Chella, R.Pirrone, R. Sorbello, K.R. Johannsdottir, Eds). In Advances in Intelligent Systems and Computing, v.196, Springer: Heidelberg, New York, Dordrecht, London. 2013;339-344. http://www.math.nsc.ru/AP/ScientificDiscovery/PDF/formal_model_of_neuron_that_provides_consistent_predictions_bica.pdf

14. Vityaev E.E., Demin A.V. Recursive subgoals discovery based on the functional systems theory. Biologically Inspired Cognitive Architectures 2011, A.V.Samsonovich, K.R.Johannsdottir (Eds), IOS Press. 2011;425-430. http://www.math.nsc.ru/AP/ScientificDiscovery/PDF/bica_recursive_subgoals_discovery.pdf.

## *Digital transformation using AI and information security*

Gumirov V.S.
Eyeline.mobi group, AI-Cluster.ru, Novosibirsk, Russia
vit@eyeline.mobi

In recent years, organizations have become more active in the field of digital transformation, which often means integration of existing automation solutions, implementation of decision support systems and enterprise-level automatic decision-making systems based on AI and big data analysis, omnichannel interaction with users, including through communication channels outside the control of enterprises, such as mobile communications and home Internet, and integration with IT systems of counterparties through APIs. At the same time, it creates new challenges to information security and the reliability of information systems: increasing the attack surface of information systems, increasing the complexity of IT systems due to integration with software developed by third parties, including open source software. To prevent such risks, many governments are tightening IS requirements.

The software lifecycle differs significantly from that of hardware solutions. Software change cycles, unlike hardware solutions, can be very frequent – several times a month or even a week.

The system of total testing and control of IS requirements with such frequent changes may be comparable to, or even exceed, the cost of implementing the information system itself. One approach to solving these problems is to apply methods of model-based system engineering (MBSE), which was originally developed and applied for realization of hardware systems. The peculiarity of this approach is to implement the target system based on its digital model (digital twins/shadows).

Our group has been successfully developing new methods and technological approaches based on MBSE in the field of large software and information systems engineering for the telecommunications industry, financial and banking sectors for more than 10 years. As a scientific basis we have chosen the developments in the field of applied mathematical logic: semantic programming and executable specifications, logic-probabilistic methods and Discovery algorithm, fuzzy model theory and semantic domain specific languages (sDSL).

***References***

1. Goncharov S.S., Sviridenko D.I. Σ-Programming Amer. Math. Soc. Transl. (2) Vol. 142, 1989. Available online: (https://goo.gl/QcocUc)

2. Goncharov S.S., Sviridenko D.I. Mathematical foundations of semantic programming. Dokl. Akad. Nauk SSSR. 1986;289(6):1324-1328.

3. Gumirov V., Matyukov P. Method for presenting information when conducting distributed transactions and structure for implementing same, US Patent US9226154B2. https://patents.google.com/patent/US9226154B2

4. Gumirov V.S., Matyukov P.Y., Palchunov D.E. Semantic Domain-specific Languages. In: 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), Novosibirsk, Russia, 21-27 Oct. 2019. IEEE Press, 2019. P. 0955-0960. https://ieeexplore.ieee.org/document/8958237

5. Gumirov V., Palchunov E. System and method for selection of content for displaying to user, RU Patent RU2595530C1, patents.google.com/patent/RU2595530C1.

6. Palchunov D.E., Yakhyaeva G.E. Integration of Fuzzy Model Theory and FCA for Big Data Mining 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). https://ieeexplore.ieee.org/document/8958216/

7. Goncharov S., Sviridenko D. Semantic Modeling and Hybrid Models 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). https://ieeexplore.ieee.org/document/8958196/

8. Pal'chunov D.E., Yakhyaeva G.E. Fuzzy logics and fuzzy model theory. Algebra and Logic. 2015;54(1):74-80. Doi 10.1007/s10469-015-9326-9.

9. Pal'chunov D.E., Yakhyaeva G.E. Interval Fuzzy Algebraic Systems. In: Mathematical Logic in Asia. Proceedings of the 9th Asian Logic Conference'05, World Scientific Publishers. 2006;191-202. https://www.semanticscholar.org/paper/INTERVAL-FUZZY-ALGEBRAIC-SYSTEMS-Palchunov-Yakhyaeva/f6f0c063885c805e0b2c7f9e257330980e5d1cb7

10. Probabilistic Dynamic Logic of Phenomena and Cognition Evgenii Vityaev; Boris Kovalerchuk; Leonid Perlovsky; Stanislav Smerdov The 2010 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). https://ieeexplore.ieee.org/document/5596833/

11. Vityaev E., Kovalerchuk B. Ontological Data Mining . Uncertainty Modeling : Dedicated to Professor Boris Kovalerchuk on his Anniversary. Studies in Computational Intelligence 683, V. Kreinovich (ed.), Springer, 2017;277-292. http://www.math.nsc.ru/AP/ScientificDiscovery/PDF/relational_methodology_paper.pdf

12. Vityaev E.E., Demin A.V. Cognitive architecture based on the functional systems theory. Procedia Computer Science 145C. 2 18;623-628. http://www.math.nsc.ru/AP/ScientificDiscovery/PDF/cognitive_architecture.pdf

13. Vityaev E.E. A formal model of neuron that provides consistent predictions. Biologically Inspired Cognitive Architectures 2012. Proceedings of the Third Annual Meeting of the BICA Society (A. Chella, R.Pirrone, R. Sorbello, K.R. Johannsdottir, Eds). In Advances in Intelligent Systems and Computing, v.196, Springer: Heidelberg, New York, Dordrecht, London. 2013;339-344. http://www.math.nsc.ru/AP/ScientificDiscovery/PDF/formal_model_of_neuron_that_provides_consistent_predictions_bica.pdf

14. Vityaev E.E., Demin A.V. Recursive subgoals discovery based on the functional systems theory. Biologically Inspired Cognitive Architectures 2011, A.V.Samsonovich, K.R.Johannsdottir (Eds), IOS Press. 2011;425-430. http://www.math.nsc.ru/AP/ScientificDiscovery/PDF/bica_recursive_subgoals_discovery.pdf.

# AI 數字化轉型與信息安全

維塔利・沙米洛維奇・古米羅夫，
Gumirov V.S.
Eyeline.mobi group, ANO Cluster II (AI-Cluster.ru), 聯合創始人，俄羅斯新西伯利亞
vit@eyeline.mobi

近年來，數字化轉型領域的組織愈演愈烈，這通常被理解為對自動化領域現有解決方案的整合，引入決策支持系統和基於企業級自動化決策系統。基於人工智能工具和大數據分析，與用戶進行全渠道交互，包括通過不受企業控制的通信渠道，如移動通信和家庭互聯網，通過公共網絡通過 API 與交易方的 IT 系統集成。 同時，這在信息安全和信息系統可靠性領域帶來了新的挑戰：信息系統的攻擊面增加，IT 系統的複雜性由於與第三方開發的軟件集成而增加，包括。 開源軟件。 為了防止此類風險，許多國家正在收緊信息安全領域的要求。

在手動模式下無法對合規性要求進行有效控制：軟件的生命週期與硬件解決方案的生命週期存在顯著差異。 與硬件解決方案不同，軟件的更改週期可能非常頻繁 - 一個月幾次，甚至一周一次。

如此頻繁變化的信息安全領域的需求全面測試和控制系統的實施成本可以媲美，甚至

超過實施信息系統本身的成本。 解決這些問題的一種方法是應用模型庫系統工程（MBSE）的方法，該方法最初是為實現硬件系統而開發和使用的。 這種方法的特殊性在於基於其數字模型（數字孿生/影子）實現目標系統。

在電信行業、金融和銀行業的工程大型軟件和信息系統領域，我們的團隊已經成功開發了基於 MBSE 的新方法和技術方法超過 10 年。 作為科學基礎，我們選擇了應用數理邏輯領域的發展：語義編程和可執行規範、概率方法和發現算法、模糊模型理論和語義領域特定語言（sDSL）。

文學


1. Goncharov S.S., Sviridenko D.I. Σ-Programming Amer. Math. Soc. Transl. (2) Vol. 142, 1989. Available online: (https://goo.gl/QcocUc)

2. Goncharov S.S., Sviridenko D.I. Mathematical foundations of semantic programming. Dokl. Akad. Nauk SSSR. 1986;289(6):1324-1328.

3. Gumirov V., Matyukov P. Method for presenting information when conducting distributed transactions and structure for implementing same, US Patent US9226154B2. https://patents.google.com/patent/US9226154B2

4. Gumirov V.S., Matyukov P.Y., Palchunov D.E. Semantic Domain-specific Languages. In: 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON), Novosibirsk, Russia, 21-27 Oct. 2019. IEEE Press, 2019. P. 0955-0960. https://ieeexplore.ieee.org/document/8958237

5. Gumirov V., Palchunov E. System and method for selection of content for displaying to user, RU Patent RU2595530C1, patents.google.com/patent/RU2595530C1.

6. Palchunov D.E., Yakhyaeva G.E. Integration of Fuzzy Model Theory and FCA for Big Data Mining 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). https://ieeexplore.ieee.org/document/8958216/

7. Goncharov S., Sviridenko D. Semantic Modeling and Hybrid Models 2019 International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). https://ieeexplore.ieee.org/document/8958196/

8. Pal'chunov D.E., Yakhyaeva G.E. Fuzzy logics and fuzzy model theory. Algebra and Logic. 2015;54(1):74-80. Doi 10.1007/s10469-015-9326-9.

9. Pal'chunov D.E., Yakhyaeva G.E. Interval Fuzzy Algebraic Systems. In: Mathematical Logic in Asia. Proceedings of the 9th Asian Logic Conference'05, World Scientific Publishers. 2006;191-202. https://www.semanticscholar.org/paper/INTERVAL-FUZZY-ALGEBRAIC-SYSTEMS-Palchunov-Yakhyaeva/f6f0c063885c805e0b2c7f9e257330980e5d1cb7

10. Probabilistic Dynamic Logic of Phenomena and Cognition Evgenii Vityaev; Boris Kovalerchuk; Leonid Perlovsky; Stanislav Smerdov. The 2010 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). https://ieeexplore.ieee.org/document/5596833/

11. Vityaev E., Kovalerchuk B. Ontological Data Mining . Uncertainty Modeling : Dedicated to Professor Boris Kovalerchuk on his Anniversary. Studies in Computational Intelligence 683, V. Kreinovich (ed.), Springer, 2017;277-292. http://www.math.nsc.ru/AP/ScientificDiscovery/PDF/relational_methodology_paper.pdf

12. Vityaev E.E., Demin A.V. Cognitive architecture based on the functional systems theory. Procedia Computer Science 145C. 2018;623-628. http://www.math.nsc.ru/AP/ScientificDiscovery/PDF/cognitive_architecture.pdf

13. Vityaev E.E. A formal model of neuron that provides consistent predictions. Biologically Inspired Cognitive Architectures 2012. Proceedings of the Third Annual Meeting of the BICA Society (A. Chella, R.Pirrone, R. Sorbello, K.R. Johannsdottir, Eds). In Advances in Intelligent Systems and Computing, v.196, Springer: Heidelberg, New York, Dordrecht, London. 2013;339-344. http://www.math.nsc.ru/AP/ScientificDiscovery/PDF/formal_model_of_neuron_that_provides_consistent_predictions_bica.pdf.

14. Vityaev E.E., Demin A.V. Recursive subgoals discovery based on the functional systems theory. Biologically Inspired Cognitive Architectures 2011, A.V.Samsonovich, K.R.Johannsdottir (Eds), IOS Press. 2011;425-430. http://www.math.nsc.ru/AP/ScientificDiscovery/PDF/bica_recursive_subgoals_discovery.pdf.


DOI 10.18699/sblai2023-11

***Модель индивидуального сознания, основанная на принципе социального доказательства и минимизации потребления ресурсов***


Колонин А.Г.

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия

akolonin@gmail.com

За последние 50 лет произошел экспоненциальный всплеск, позволивший мгновенно общаться между людьми в любой точке планеты, и появились технологии создания искусственных агентов, способных коммуницировать от имени маркетинговых, политических и правительственных агентств в социальных сетях в глобальных человеческих сообществах – собирать социальную информацию, строить прогнозные модели массового поведения и манипулировать потребительской, социальной и политической активностью. Есть работы, моделирующие мультиагентную динамику в социальных средах и обсуждающие феномены массового поведения. В последние годы весь объем знаний, накопленных человечеством, можно загрузить в программные системы с использованием графовых или нейросетевых моделей. В сочетании с доступными вычислительными ресурсами теперь теоретически возможно создавать модели когнитивного поведения отдельного человека или социальных взаимодействий для целых обществ. Такие модели оказываются полезными для широкого круга приложений на потребительском и корпоративном рынках. Для личного использования они могут быть встроены в интеллектуальных программных помощников, обеспечивающих интеллектуальную фильтрацию входящих электронных коммуникаций и автоматический предиктивный поиск нужной информации. Для использования корпоративными и государственными структурами они позволяют строить психологически корректные динамические модели целевой аудитории, чтобы обеспечить точный учет намерений и желаний потребителей или избирателей, устранить неуместный шум в рекламных компаниях и подавлять соответствующее неприятие со стороны потребителя.

Мы предлагаем динамическую модель представления знаний, основанную на социальном доказательстве, предполагающую охват базы рассматриваемых субъектом прецедентов, модулируемый социальными связями и ограниченный физическими ресурсами. Первый принцип основан на идее «социального доказательства», введенной Чалдини. Последний может быть связан с «принципом свободной энергии», представленным Фристоном как ключевая движущая сила интеллекта, а также с концепцией использования «ограниченных ресурсов», идентифицированной Вонгом. Ключевой частью модели является оценка истинности информации как сводного доказательства, собранного в определенные временные рамки и модулированного соответствующим социальным контекстом, нормализованного в интервале между 0 и 1. Агент, взаимодействующий в социальной мультиагентной среде, воспринимает информацию от нее для принятия решений и совершения действий с возможностью изменения собственных знаний об окружающей среде в ходе операций. Чтобы общаться, агент имеет используемую систему фундаментальных знаний относительно окружающей среды и самих себя. Он также имеет механизм для принятия знания, поступающего из внешнего мира, либо отвергания его. Для различных видов принятых знаний агент должен иметь возможность делать суждения относительно надежности различных фактов, что может быть сделано на основе количества свидетельств, связанных с этими фактами. Каждое свидетельство рассматривается с точки зрения доверия к его источнику, например, социальных связей, подтверждающих его достоверность.

***Литература***

1. Kolonin A. Resource-Constrained Social Evidence Based Cognitive Model for Empathy-Driven Artificial Intelligence. In: Iklé M., Franz A., Rzepka R., Goertzel B. (eds.) Artificial General Intelligence. AGI 2018. Lecture Notes in Computer Science, vol. 10999. Springer, Cham. 2018. Doi 10.1007/978-3-319-97676-1_10.

## *Model of individual consciousness based on the principle of social proof and minimization of resource consumption*

Kolonin A.G.
Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia
akolonin@gmail.com

The theory of human intelligence and cognitive abilities have been always key for fundamental sciences and amount of research made in this area is enormous. Over the last 50 years, exponential burst has happened in information technologies, enabling light-of-speed social communications between any two humans on Earth and causing appearance of intelligent artificial agents operating on behalf on marketing, political and government agencies to act in social networks against global human communities – collecting Earth-wide social information, building predictive models of mass behavior and manipulating consumer, social and political activity. There more recent works modeling multi-agent dynamic in social environments and discussing phenomena of mass behavior. In the very last years, it has happened so that entire scope of knowledge accumulated by humanity could be uploaded into computer software system using computable graph representation. Accompanied with available computational models of intelligence, it is now theoretically possible to create "in silico" models of cognitive behavior of a single human or social interactions for entire societies. Such models could be invaluable for wide range of applications on consumer and corporate markets. For personal use, it could be built into intelligent software assistants providing intelligent filtering of incoming electronic media and automatic predictive search for desired information – accordingly to cognitive profile of a user. For use by media supplier, it could be beneficial to have psychologically correct dynamic models of target audience to ensure precise account for consumer intent and desire, eliminating irrelevant noise in advertisement information and respective rejection on consumer side.

What we suggest could be called "dynamic social evidence-based knowledge representation model", as it accounts for dynamic scoping of evidence calculation base over time scale, modulated by social connections and constrained by physical resources. The former principle can be found corresponding to "social proof", introduced by Cialdini. The latter one can be associated by "free energy principle" posed by Friston as a key driver for intelligence as well as "using limited resources" capacity of an intelligent being identified by Wang. The key part of the model is evaluation of confidence as cumulative evidence, collected in specific time frame and modulated by relevant social context, normalized to standard interval between 0 (no supporting evidence) and 1 (maximum supporting evidence) inclusively. It is anticipated this model could provide psychologically plausible results for cognitive agent interacting in social multi-agent environment, perceiving information from it in order to make decisions and take actions, with possibility to change its own knowledge about the environment in the course of operations. In order to communicate, agents are implied to have some jointly shared system of fundamental knowledge (called "belief system") regarding the surrounding environment and themselves. They should also have a mechanism for either accepting the knowledge coming to an agent from its outer world (if it is compatible with the agent's belief system), or rejecting it (in the opposite case). Further, for different sorts of accepted knowledge, an agent should be able to make judgments regarding reliability of different facts, which can be done based on the amount of evidence associated with these facts. Each evidence is considered in terms of trust towards its source such as social connection supporting the evidence.

***References***

1. Kolonin A. Resource-Constrained Social Evidence Based Cognitive Model for Empathy-Driven Artificial Intelligence. In: Iklé M., Franz A., Rzepka R., Goertzel B. (eds.) Artificial General Intelligence. AGI 2018. Lecture Notes in Computer Science, vol. 10999. Springer, Cham. 2018. Doi 10.1007/978-3-319-97676-1_10.

## 基於社會證明和資源消耗最小化原則的個人意識模型

Kolonin A.G.
新西伯利亞國立大學，新西伯利亞，俄羅斯
akolonin@gmail.com

在過去的 50 年裡，出現了指數級的激增，這使得世界上任何地方的人之間的即時交流成為可能，技術似乎創造了可以代表營銷、政治和政府機構在社交網絡上進行交流的人工

智能代理在全球人類社區中——收集社會信息，建立大眾行為預測模型並操縱消費者、社會和政治活動。 有一些作品對社會環境中的多主體動力學進行建模，並討論了大眾行為的現象。 近年來，人類積累的全部知識都可以使用圖或神經模型加載到系統程序中。 結合可用的計算資源，現在理論上可以為整個社會創建個人認知行為或社會互動的模型。 事實證明，此類模型可用於消費者和企業市場的廣泛應用。 對於個人使用，它們可以內置到智能軟件助手中，這些軟件助手可以對傳入的電子通信進行智能過濾，並對所需信息進行自動預測搜索。 對於企業和政府實體的使用，它們允許構建目標受眾的心理正確動態模型，以準確捕捉消費者或選民的意圖和願望，消除廣告活動中的不當噪音並抑制相應的消費者拒絕。

我們提出了一種基於社會證明的知識表示動態模型，該模型涉及主體考慮的先例基礎的覆蓋範圍，受社會關係調節並受物理資源限制。 第一個原則是基於 Cialdini 引入的“社會證明”的想法。 後者可能與弗里斯頓作為智能的關鍵驅動因素引入的“自由能原理”有關，也與 Wong 確定的使用“有限資源”的概念有關。 該模型的關鍵部分是對信息真實性的評估，作為在特定時間範圍內收集並由相應的社會背景調製的證據的總結，在 0 和 1 之間的區間內歸一化。智能體從環境中感知信息以做出決策和執行動作，具有在操作過程中改變自身對環境的認識的能力。 為了進行交流，代理人有一個使用中的關於環境和自身的基礎知識系統。 它還有一種機制，可以接受或拒絕來自外部世界的知識。 對於各種公認的知識，代理必須能夠對各種事實的可靠性做出判斷，這可以根據與這些事實相關的證據量來完成。 每一條證據都根據其來源的可信度來考慮，例如確認其可信度的社會關係。

文學

1. Kolonin A. Resource-Constrained Social Evidence Based Cognitive Model for Empathy-Driven Artificial Intelligence. In: Iklé M., Franz A., Rzepka R., Goertzel B. (eds.) Artificial General Intelligence. AGI 2018. Lecture Notes in Computer Science, vol. 10999. Springer, Cham. 2018. Doi 10.1007/978-3-319-97676-1_10.

DOI 10.18699/sblai2023-12

## *Объектные онтологии как логические хранилища данных и знаний*

Манцивода А.В.*, Гаврилина Д.Э., Гаврилин Д.Н.
Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия
* andrei@baikal.ru

Логические методы обладают большим потенциалом для управления данными и знаниями о предметных областях. К сожалению, эти методы до сих пор имеют ограниченное применение по сравнению, например, с нейронными сетями. Основные препятствия здесь: (1) высокая алгоритмическая сложность логических формализмов и (2) «элитарность», недоступность широким кругам. Одним из решений здесь является использование онтологий – логических систем, которые, с одной стороны, достаточно выразительны для описания сущностей предметных областей и связей между ними и, с другой стороны, имеют достаточно простую логическую основу. Онтологии предоставляют существенно более тонкие и выразительные инструменты описаний, чем, например, популярные реляционные базы данных (РБД). Это касается и представления научных данных, данных экспериментов, наблюдений, а также управления этими данными.

Особо высоким потенциалом обладают объектные онтологии. Объектные онтологии имеют декларативную структуру, близкую к объектным моделям в программировании (одному из основных на сегодняшний день инструментов разработки информационных систем), но при этом обладают строгой логической семантикой и механизмами «рассуждений». Но, чтобы быть реально полезными, онтологии должны быть доступными, эффективными и масштабируемыми.

Нами развит подход к управлению объектными онтологиями, концептуально

базирующийся на методологии семантического программирования [1] и основанный на технике документного моделирования [2]. Основным вызовом для нас было преодоление препятствий 1 и 2, перечисленных выше. Во-первых, благодаря разработке логического языка запросов к объектным онтологиям и методам его компиляции нам удалось достигнуть эффективности работы, близкой к РБД – с онтологиями больших размеров (десятки миллионов сущностей со сложными связями) [3]. Во-вторых, нами разработаны и реализованы визуальные интерфейсы работы с онтологиями в стиле no-code и low-code, существенно повышающие доступность технологии [4]. Для алгоритмической обработки информации, заложенной в онтологии, разработан и реализован (в среде Java VM) объектный язык программирования Libretto, для которого декларативная компонента онтологий служит системой типов данных. Это обеспечивает дуальность наших объектных онтологий, которые могут интерпретироваться и как базовые логические системы, и как типы данных для языка программирования.

Объектные онтологии реализованы на базе платформы bSystem.

***Литература***

1. Goncharov S.S., Ershov Yu.L., Sviridenko D.I. Semantic foundations of programming. Lecture Notes in Computer Science. 1987;278:116-122.

2. Малых А.А., Манцивода А.В. Документное моделирование. Известия Иркутского государственного университета. Серия Математика. 2017;21:89-107.

3. Гаврилин Д.Н., Кустова И.А., Манцивода А.В. Объектные модели как микросервисы: язык запросов. Известия Иркутского государственного университета. Серия Математика. 2022;42:121-137.

4. Гаврилина Д.Э., Манцивода А.В. Low-code и объектные электронные таблицы. Известия Иркутского государственного университета. Серия Математика. 2022;40:93-103.

## *Object ontologies as logical data and knowledge storages*

Mantsivoda A.V.*, Gavrilina D.E., Gavrilin D.N.
Irkutsk State University, Irkutsk, Russia
* andrei@baikal.ru

Logical methods have great potential for managing data and domain knowledge. Unfortunately, these methods are still of limited use compared to, for example, neural networks. The main obstacles here are: (1) high algorithmic complexity of logical formalisms and (2) ‘elitism’, a high threshold to the wider range of people. One of the solutions here is the use of ontologies – logical systems, which, on the one hand, are expressive enough to describe the entities of domains of discourse and the relationships between them, and, on the other hand, have a relatively simple logical basis. Ontologies provide much more refined and expressive description tools than, for example, popular relational databases (RDBs). This also applies to the representation of scientific data, data of experiments, observations, as well as the management of these data.

Object ontologies have a particularly high potential. Object ontologies have a declarative structure similar to that of object-oriented models in programming (one of the most popular tools for developing information systems today), but at the same time they have strict logical semantics and “reasoning” mechanisms. But to be practically useful, ontologies must be affordable, efficient, and scalable.

We have developed an approach to managing object ontologies, which is conceptually based on the methodology of semantic programming [1] and the technique of document modeling [2]. The major challenge for us was to overcome obstacles 1 and 2 listed above. First, thanks to the development of a logical query language for object ontologies and methods for compiling it, we managed to achieve the processing efficiency close to that of RDB – with large ontologies (tens of millions of entities with complex interrelations) [3]. Secondly, we have developed and implemented visual interfaces for working with ontologies in the no-code and low-code style, which significantly widens the accessibility of the technology [4]. For algorithmic and computational processing of information formalized in the ontology, the Libretto object programming language has been developed and implemented (in Java VM environment), for which the declarative layer of

ontologies serves as a data type system. This ensures the duality of our object ontologies, which can be interpreted both as basic logical systems and as data types for a programming language.

Object ontologies are implemented based on the bSystem platform.

***References***

1. Goncharov S.S., Ershov Yu.L., Sviridenko D.I. Semantic foundations of programming. Lecture Notes in Computer Science. 1987;278:116-122.

2. Malykh A.A., Mantsivoda A.V. Document Models. The Bulletin of Irkutsk State University. Series Mathematics. 2017;21:89-107. (In Russian).

3. Gavrilin D.N., Kustova I.A., Mantsivoda A.V. Object Models as Microservices: A Query Language. The Bulletin of Irkutsk State University. Series Mathematics. 2022;42:121-137. (In Russian)

4. Gavrilina D.E., Mantsivoda A.V. Low-code and Object Spreadsheats. The Bulletin of Irkutsk State University. Series Mathematics. 2022;40:93-103. (In Russian)

## 對象本體作為數據和知識的邏輯存儲

Mantsivoda A.V.*, Gavrilina D.E., Gavrilin D.N.
ISU，伊爾庫茨克，俄羅斯
* andrei@baikal.ru

邏輯方法在管理數據和領域知識方面具有巨大潛力。 不幸的是，與神經網絡等相比，這些方法的用途仍然有限。 這裡的主要障礙是：（1）邏輯形式主義的高算法複雜性和（2）“精英”，無法進入廣泛的圈子。

這裡的解決方案之一是使用本體 - 邏輯系統，一方面，它具有足夠的表現力來描述主題領域的實體及其之間的關係，
另一方面，具有相當簡單的邏輯基礎. 與流行的關係數據庫 (RDB) 相比，本體提供了更加微妙和更具表現力的描述工具。 這也適用於科學數據、實驗數據、觀察數據的呈現以及這些數據的管理。

對象本體具有特別高的潛力。 對象本體具有類似於編程中的對像模型（當今開發信息系統的主要工具之一）的聲明式結構，但同時具有嚴格的邏輯語義和“推理”機制。 但要真正有用，本體必須易於訪問、高效且可擴展。

我們開發了一種管理對象本體的方法，該方法在概念上基於語義編程方法 [1] 和文檔建模技術 [2]。 我們面臨的主要挑戰是克服上面列出的障礙 1 和 2。 首先，由於開發了一種用於對象本體的邏輯查詢語言和編譯它的方法，我們設法實現了接近 RDB 的工作效率 - 具有大型本體（數千萬個具有復雜關係的實體）[3]。 其次，我們開發並實現了以無代碼和低代碼風格處理本體的可視化界面，這顯著提高了技術的可訪問性 [4]。 為了對本體中包含的信息進行算法處理，開發並實現了對象編程語言 Libretto（在 Java VM 環境中），本體的聲明性組件用作數據類型系統。 這確保了我們的對象本體的二元性，它既可以解釋為基本邏輯系統，也可以解釋為編程語言的數據類型。

對象本體是在 bSystem 平台的基礎上實現的。

文學

1. Goncharov S.S., Ershov Yu.L., Sviridenko D.I. Semantic foundations of programming. Lecture Notes in Computer Science. 1987;278:116-122.

2. Malykh A.A., Mantsivoda A.V. Document Models. The Bulletin of Irkutsk State University. Series Mathematics. 2017;21:89-107. (In Russian).

3. Gavrilin D.N., Kustova I.A., Mantsivoda A.V. Object Models as Microservices: A Query Language. The Bulletin of Irkutsk State University. Series Mathematics. 2022;42:121-137. (In Russian)

4. Gavrilina D.E., Mantsivoda A.V. Low-code and Object Spreadsheats. The Bulletin of Irkutsk State University. Series Mathematics. 2022;40:93-103. (In Russian)

DOI 10.18699/sblai2023-13

## *Задачи построения цифровых двойников для исследований в биологии и микроэлектронике*

Ракшун Я.В.
Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск, Россия
Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия
rakshun@mail.ru

Продолжается реализация проекта ЦКП «СКИФ» (источник СИ, строящийся в наукограде Кольцово, Новосибирская обл.), в котором основной единицей пользовательской инфраструктуры выступает экспериментальная станция, представляющая собой единый комплекс оборудования, по аналогии с исследовательской лабораторией. Проектом предусмотрено поочередное создание таких станций, и при их создании особое внимание должно уделяться тем современным достижениям, которые могли бы стать основой как ускорения сроков создания и последующей модернизации самих экспериментальных станций, так и ввода новых методов и подходов к исследованиям, что, несомненно, должно повлечь за собой значительное конкурентное преимущество. К числу таких достижений в первую очередь следует отнести достижения в области информационных технологий, предоставляющих возможность, например, проводить необходимые вычисления в реальном времени, прогнозировать результаты эксперимента и за короткие промежутки времени планировать и осуществлять новые варианты проведения эксперимента. Современные информационные технологии позволяют также создавать специальные тренажеры для обучения студентов и ученых работе на станции, как для проведения исследований, так и для проектирования и модернизации, причем кадры нужны заранее.

Среди упомянутых информационных технологий хотелось бы обратить особое внимание на технологию цифровых двойников, прекрасно себя зарекомендовавшую в промышленности, на различных этапах работы: в проектировании и эксплуатации (сопровождении жизненного цикла), при обучении работе с оборудованием и при регулярных тренировках, при отработках внештатных ситуаций, для прогнозирования состояния производственных комплексов, поддержки и принятия решений по технологическим процессам и, наконец, с целью систематизации получаемых данных и извлечения важной информации. Очевидно, что все перечисленные преимущества и возможности цифровых двойников при проектировании, сопровождении, обучении, анализе, а также для логистики эксперимента могут быть востребованы и в случае экспериментальных станций на источниках СИ. Рассматривая станцию как совокупность инструментальных и программных решений, мы получаем возможность принципиально по-другому проводить эксперименты, что влечет за собой создание и развитие новых подходов к исследованиям. И одним из таких подходов можно считать молекулярно-клеточное рентгеновское кино, основанное на использовании сканирующей и проекционной микроскопии [1]. Следует также отметить и возможность создания литографа для микроэлектроники на основе подобной рентгенооптической схемы [2].

### *Литература*

1. Малышев И.В. и др. Проект сканирующего и проекционного микроскопов для станции «Наноскопия» для биологических исследований в «окне прозрачности воды» // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2023;5:3-15. Doi 10.31857/S1028096023050126.

2. Малышев И.В. и др. Проект рентгенооптической схемы литографа с динамической маской пропускающего типа и синхротронным источником излучения // Журнал технической физики, в печати.

## *Goals of construction of digital twins for studies in biology and microelectronics*

Rakshun Ya.V.
Siberian State University of Telecommunications and Information Science, Novosibirsk, Russia

Budker Institute of Nuclear Physics of SB RAS, Novosibirsk, Russia
rakshun@mail.ru

The SRF “SKIF” project (the synchrotron radiation source located in Koltsovo, Novosibirsk region) is in progress, and the basic unit of its user infrastructure is experimental beamline, representing a united complex of equipment analogous to a research laboratory. The project sets out an alternate construction of such beamlines, and at this a special attention should be paid to those modern achievements that could serve as a basis for accelerating construction of the beamlines and their future upgrading as well as for introduction of new methods and approaches to research, which should apparently result in a significant competitive advantages. Such achievements should foremost include those in the field of information technologies providing the opportunity, for example, to conduct the necessary calculations in real time, foresee the results of an experiment, and plan and carry out the new variants of experiments in short time spans. The modern information technologies also allow creating special simulators for training students and researchers for work on beamlines, both for research and engineering and upgrading, the trained specialists being needed now.

Among the above-mentioned information technologies a special attention should be paid to the technology of digital twins which has shown an excellent performance in industry at various stages of work: in engineering and operation (life cycle monitoring), in training for working with equipment and in regular training, in practice for incidents, for forecasting the state of manufacturing units, support and decisions in technology processes, and, last but not least, for classification of the obtained data and extraction of important information. Obviously, all listed advantages and capabilities of the digital twins for engineering, monitoring, training, analysis as well as for experiment logistics can be certainly relevant for the experimental beamlines at the SR sources. Considering beamline as a combination of instrumental and program solutions we get an opportunity to conduct experiments in a radically new way, which results in creating and development of new approaches to research. One of such approach is a molecular-cellular X-ray movie based on scanning and projection microscopy [1]. We should also note the possibility for making a lithograph for microelectronics based on such X-ray optics [2].

***References***

1. Malyshev I.V. et al. Project of scanning and projection microscopes for “Nanoscopy” beamline for biology research in “water transparency window” // Poverkhnost. Rentgenovskie, sinkhrotronnye i neitronnye issledovaniya. 2023;5:3-15. Doi 10.31857/S1028096023050126.

2. Malyshev I.V. et al. Project of X-ray optics for lithograph with dynamic mask of transmissive type and synchrotron radiation source // Zhurnal tekhnicheskoi fiziki, in print.

## 為生物學和微電子學研究構建數字孿生的問題

Rakshun Ya.V.
SibSUTIS，新西伯利亞，俄羅斯
BINP SB RAS，新西伯利亞，俄羅斯
rakshun@mail.ru

SKIF CUC（來源 SI，正在新西伯利亞地區科利佐沃科學城建設）項目繼續實施，其中用戶基礎設施的主要單元是實驗站，是單套設備，類似於研究實驗室。 該項目規定了此類站的連續創建，在創建它們時，應特別注意那些可能成為加速實驗站創建時間框架和後續現代化試驗站本身的基礎的現代成就，並引入新的研究方法和方法，這無疑會帶來顯著的競爭優勢。 首先，這些成就包括信息技術領域的成就，它提供了機會，例如，實時進行必要的計算，預測實驗結果，併計劃和實施新的實驗選擇方案在短時間內。 現代信息技術還使創建特殊模擬器成為可能，用於培訓學生和科學家在空間站工作，既用於研究，也用於設計和現代化，並且提前需要人員。

在提到的信息技術中，我想特別關注數字孿生技術，它在行業的各個工作階段都得到

了很好的證明：設計和運營（生命週期支持）、設備工作培訓在定期培訓中，在緊急情況下，預測生產綜合體的狀態，支持和製定技術流程決策，最後，為了系統化接收到的數據並提取重要信息。 很明顯，在基於 SR 源的實驗站的情況下，數字孿生在設計、維護、培訓、分析以及實驗後勤方面的所有列出的優勢和能力無疑是有需求的。 將空間站視為一組儀器和軟件解決方案，我們有機會以一種根本不同的方式進行實驗，這需要創造和開發新的研究方法。 其中一種方法可以被認為是基於使用掃描和投影顯微鏡的分子細胞 X 射線電影院 [1]。 還應注意的是，可以基於類似的 X 射線光學方案 [2] 創建微電子光刻。

文學

1. Malyshev I.V. et al. Project of scanning and projection microscopes for “Nanoscopy” beamline for biology research in “water transparency window” // Poverkhnost. Rentgenovskie, sinkhrotronnye i neitronnye issledovaniya. 2023;5:3-15. Doi 10.31857/S1028096023050126.

2. Malyshev I.V. et al. Project of X-ray optics for lithograph with dynamic mask of transmissive type and synchrotron radiation source // Zhurnal tekhnicheskoi fiziki, in print.

DOI 10.18699/sblai2023-14

## *Задачный подход к построению цифрового двойника организации*

Свириденко Д.И.
Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,
Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
АНО «Кластер Искусственного Интеллекта», Новосибирск, Россия
dsviridenko47@gmail.com

Считается общепризнанным, что эффективность деятельности организации в настоящее время определяется не только тем продуктом, который она поставляет на рынок, но и ее *системой управления*, представляющей собой упорядоченную пару <*Модель управления, Корпоративная культура*>, эффективность которой проявляется в гармоничном сочетании этих аспектов управления. Тем не менее ведущая роль здесь отводится *Модели управления*, во многом определяющей способы и правила функционирования организации. В свою очередь повышение эффективности модели управления в последнее время часто связывают с внедрением и использованием цифровых двойников [1], возлагая на них роль интеллектуальных систем поддержки принятия управленческих решений. Но поскольку цифровой двойник организации является ничем иным, как ее цифровой моделью, то естественно возникает вопрос: на каких принципах следует строить такую цифровую модель. И главный вопрос здесь – что есть объект управления в организации?

Отметим, что теория и практика управления организациями изучает и предлагает широкий спектр таких объектов – ситуация, функция, ресурс (финансы, люди, …), проект, процесс, данные, их различные сочетания (например, матричные модели управления) и т. п. Однако нетрудно понять, что все эти объекты управления предназначены в конечном счете для решения управленческих задач. В этом и состоит главный посыл задачного подхода [2, 3] к проблеме построения цифрового двойника организации – основным объектом управления в любой организации является «задача», а перечисленные выше объекты управления являются вторичными по отношению к задачам. Так, например, весьма популярный сейчас объект управления «процесс», лежащий в основе процессного моделирования деятельности организации, есть ничто иное как алгоритм решения соответствующей задачи. Естественно, что если задача имеет решение в виде того или иного хорошо зарекомендовавшего себя процесса, то имеет смысл использовать этот процесс. Но что делать менеджерам организации в случае появления нестандартной задачи, не имеющей шаблонного процессного решения? К сожалению, здесь процессный подход уже мало эффективен.

В докладе обсуждаются два варианта построения интеллектуальных цифровых двойников, создаваемых в рамках и инструментально-технологическими средствами задачного подхода и ее логико-математической теорией – семантическим моделированием. Первый вариант – это так называемые *регламентные модели*, где основную роль при моделировании играют цифровые регламенты, определяющие логико-вероятностные условия и правила решения управленческих задач. Второй вариант цифровых двойников ориентирован на создание цифровых *контрактных моделей*, где основную роль играют умные контракты и блокчейн, формализующие отношения акторов, ставящих и решающих управленческие задачи, а также акторов, способствующих решению.

***Литература***

1. Цифровой двойник организации (Digital Twin of Organization, DTO), https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Цифровой_двойник_(Digital_Twin_ of_Organization,_DTO)

2. Гончаров С.С., Витяев Е.Е., Свириденко Д.И. Задачный подход в искусственном интеллекте. Прикладная математика и фундаментальная информатика. 2020;7(2):4-9.

3. Витяев Е.Е., Гончаров С.С., Свириденко Д.И. Задачный подход в искусственном интеллекте и когнитивных науках. Сибирский философский журнал. 2020;18(2):5-29.

## *A task approach to building a digital twin of an organization*

Sviridenko D.I.
Novosibirsk State University, Siberian State University of Telecommunications and Information Science, ANO “Artificial Intelligence Cluster”, Novosibirsk, Russia
dsviridenko47@gmail.com

It is generally accepted that the effectiveness of an organization is currently determined not only by the product that it supplies to the market, but also by its management system, which is an ordered pair <*Management model, Corporate culture*>, the effectiveness of which is manifested in the harmonious combination of these aspects of management. Nevertheless, the leading role here is assigned to the *Management model*, which largely determines the methods and rules for the functioning of the organization. In turn, increasing the efficiency of the management model in recent years is often associated with the introduction and use of digital twins [1], assigning to them the role of intelligent management decision support systems. Since the digital twin of an organization is nothing more than its digital model, the question naturally arises – on what principles should such a digital model be built. The main question here is what is the object of management in the organization?

Note that the theory and practice of organization management studies and offers a wide range of such objects – a situation, a function, a resource (finance, people, ...), a project, a process, data, their various combinations (for example, matrix management models), etc. However, it is easy to understand that all these control objects are ultimately designed to solve managerial problems. This is the main message of the task approach [2, 3] to the problem of building a digital twin of an organization – the main object of management in any organization is the “task”, and the above management objects are secondary in relation to tasks. So, for example, the now very popular control object “process”, which underlies the process modeling of the organization's activities, is nothing more than an algorithm for solving the corresponding problem. Naturally, if the problem has a solution in the form of one or another well-established process, then it makes sense to use this process. What should managers of an organization do in case of a non-standard task that does not have a template process solution? Unfortunately, the process approach is no longer effective here.

The report discusses two options for building intelligent digital twins created within the framework and tool-technological means of the task approach and its logical and mathematical theory – semantic modeling. The first option is the so-called *Regulatory models*, where the main role in modeling is played by digital regulations that determine the logical-probabilistic conditions and rules for solving managerial problems. The second version of digital twins is focused on the creation of digital *Contract models*, where smart contracts and blockchain play the main role,

formalizing the relationship of actors setting and solving management tasks, as well as actors contributing to the solution.

***References***

1. Digital Twin of Organization (DTO). https://www.tadviser.ru/index.php/Article: Digital_twin_(Digital_Twin_of_Organization,_DTO).

2. Goncharov S.S., Vityaev E.E., Sviridenko D.I. Task approach in artificial intelligence. Applied Mathematics and Fundamental Informatics. 2020;7(2):4-9.

3. Vityaev E.E., Goncharov S.S., Sviridenko D.I. Task approach in artificial intelligence and cognitive sciences. Siberian Philosophical Journal. 2020;18(2):5-29.

## 構建組織數字雙胞胎的任務方法

Sviridenko D.I.
NSU, SibSUTIS, ANO “人工智能集群”，俄羅斯新西伯利亞
dsviridenko47@gmail.com

人們普遍認為，目前一個組織的有效性不僅取決於它向市場提供的產品，還取決於其管理體系，這是一對有序的<管理模式，企業文化>，其有效性是表現在這些管理方面的和諧結合。 然而，這裡的主導作用分配給了管理模型，它在很大程度上決定了組織運作的方法和規則。 反過來，近年來管理模型效率的提高通常與數字孿生模型［1］的引入和使用有關，賦予它們智能管理決策支持系統的作用。 但由於組織的數字雙胞胎只不過是其數字模型，自然會出現一個問題——應該根據什麼原則構建這樣的數字模型。 而這裡的主要問題是組織中管理的對像是什麼？

請注意，組織管理的理論和實踐研究並提供了範圍廣泛的此類對象——情況、功能、資源（財務、人員……）、項目、流程、數據及其各種組合（對於例如，矩陣管理模型）等。 但是，很容易理解，所有這些控制對象最終都是為了解決管理問題而設計的。 這是任務方法［2,3］對構建組織數字孿生問題的主要信息 - 任何組織的主要管理對像都是“任務”，上述管理對象相對於任務。 因此，例如現在非常流行的控制對象“過程”，它是組織活動過程建模的基礎，無非是解決相應問題的算法。 自然地，如果問題以一個或另一個完善的過程的形式有解決方案，
那麼使用這個過程是有意義的。 但是，如果遇到沒有模板流程解決方案的非標準任務，組織的管理者應該怎麼做呢？ 不幸的是，過程方法在這裡不再有效。

該報告討論了在任務方法及其邏輯和數學理論——語義建模的框架和工具技術手段內創建智能數字孿生的兩種選擇。 第一種選擇是所謂的程序模型，其中建模的主要作用是通過數字規則來確定解決管理問題的邏輯概率條件和規則。 第二版數字孿生側重於創建數字合約模型，其中智能合約和區塊鏈發揮主要作用，形式化參與者設置和解決管理任務以及參與者為解決方案做出貢獻的關係。

文學

1. Digital Twin of Organization (DTO). https://www.tadviser.ru/index.php/Article: Digital_twin_(Digital_Twin_of_Organization,_DTO).

2. Goncharov S.S., Vityaev E.E., Sviridenko D.I. Task approach in artificial intelligence. Applied Mathematics and Fundamental Informatics. 2020;7(2):4-9.

3. Vityaev E.E., Goncharov S.S., Sviridenko D.I. Task approach in artificial intelligence and cognitive sciences. Siberian Philosophical Journal. 2020;18(2):5-29.

# Подсекция «Системная биология»

DOI 10.18699/sblai2023-15

***Потоковое моделирование для задач биотехнологии***

Акбердин И.Р.
АНО ВО «Университет Сириус», Сириус, Россия
akberdin.ir@talantiuspeh.ru

Разработка математической модели, описывающей динамику изменений внутри- и внеклеточных метаболитов клетки в ответ на генетическую модификацию и/или изменение условия внешней среды, является существенным этапом в процессе инжиниринга метаболических путей – современной, бурно развивающейся отрасли клеточной биологии, направленной на поиск и оптимизацию путей наработки целевых биотехнологических продуктов в живых системах или теоретического определения функциональных взаимосвязей генотип–фенотип на уровне всего организма. Такая модель позволяет *in silico* предсказать генетические модификации (нокаут гена, модификация промотора), необходимые для увеличения скорости роста культуры клеток, выхода целевого продукта при росте культуры клеток в оптимальных условиях и в зависимости от различных субстратов [1, 2]. В этом направлении развития системной биологии создание метаболических сетей на основе целого генома (GENRE, GEnome-scale Network REconstruction) является наиболее перспективным. Реконструкция GENRE позволяет объединить в себе омиксные данные о метаболизме, основываясь на возможности связать информацию о целом геноме и генной экспрессии с предсказаниями модели по распределению потоков или скоростей реакций, составляющих метаболические пути, о биомассе и энергетических затратах, специфичных для каждого изучаемого организма [3]. На данный момент уже созданы и опубликованы математические модели метаболизма модельных организмов: *E. coli*, *B. subtilis*, *C. elegans*, *D. rerio*, *D. melanogaster*, *M. musculus*, *R. norvegicus*, которые были реконструированы на основе полногеномных данных и успешно верифицированы на разнообразных экспериментальных данных. Для дальнейшего развития этой области знаний необходимо развитие методов построения полногеномных моделей и построение моделей для новых, не модельных организмов, имеющих как фундаментальное, так и прикладное значение.

В рамках доклада будут представлены основные этапы создания метаболических моделей, обзор методов интеграции омиксных данных в соответствующие модели и проблемы их дальнейшего анализа и верификации на примере немодельного организма – метанотрофной бактерии *Methylotuvimicrobium alcaliphilum 20Z*$^{R}$.

Работа поддержана грантом РНФ № 23-24-00606.

***Литература***

1. Gu C., Kim G.B., Kim W.J., Kim H.U., Lee S.Y. Current status and applications of genome-scale metabolic models, *Genome Biology*, 2019, vol. 20, P. 1-18.

2. Walakira A., Rozman D., Režen T., Mraz M., Moškon M. Guided extraction of genome-scale metabolic models for the integration and analysis of omics data, *Computational Structural Biotechnology Journal*, 2021, vol. 19, P. 3521-3530.

3. Richelle A., Kellman B.P., Wenzel A.T., Chiang A.W., Reagan T., Gutierrez J.M., ... Lewis N.E. Model-based assessment of mammalian cell metabolic functionalities using omics data, *Cell Reports Methods*, 2021, vol. 1, no. 3, 100040.

## *Genome-scale metabolic modeling for biotechnology*

Akberdin I.R.
Sirius University, Sirius, Russia
akberdin.ir@talantiuspeh.ru

Development of a mathematical model describing the dynamics of changes in intra- and extracellular cell metabolites in response to genetic modification and/or changes in environmental conditions is an essential step in the process of metabolic pathway engineering, a modern, rapidly developing branch of cell biology aimed at identification and optimizing the ways to produce target biotechnological products in living systems or theoretically determining the functional genotype–phenotype relationships at the organism level. Such a model enables to get *in silico* prediction of genetic modifications (gene knockout, promoter modification) required to increase cell culture growth rate, target product yield during cell culture growth under optimal conditions and depending on different substrates [1, 2]. In this direction of systems biology development, whole genome-based metabolic networks (GENRE, GEnome-scale Network REconstruction) are the most promising. GENRE reconstruction allows to combine omics data on metabolism, based on the ability to link whole-genome information and gene expression with model predictions on the distribution of fluxes or rates of reactions constituting the metabolic pathways, on biomass and energy expenditure specific to each organism under study [3]. Currently, mathematical models of the metabolism of model organisms: *E. coli*, *B. subtilis*, *C. elegans*, *D. rerio*, *D. melanogaster*, *M. musculus*, *R. norvegicus* have been built and published. These models were reconstructed based on whole genomic data and successfully verified on a variety of experimental data. For further development of this field of knowledge, it is necessary to develop methods for the construction of whole-genome models and the construction of models for new, non-model organisms of both fundamental and applied importance.

The report will present the main stages in the construction of metabolic models, a review of methods for the integration of omics data into the relevant models and the problems of their further analysis and verification by the example of a non-model organism – the methanotrophic bacterium *Methylotuvimicrobium alcaliphilum 20Z*$^{R}$.

This work was supported by the Russian Science Foundation grant # 23-24-00606.

### *References*

1. Gu C., Kim G.B., Kim W.J., Kim H.U., Lee S.Y. Current status and applications of genome-scale metabolic models, *Genome Biology*, 2019, vol. 20, P. 1-18.

2. Walakira A., Rozman D., Režen T., Mraz M., Moškon M. Guided extraction of genome-scale metabolic models for the integration and analysis of omics data, *Computational Structural Biotechnology Journal*, 2021, vol. 19, P. 3521-3530.

3. Richelle A., Kellman B.P., Wenzel A.T., Chiang A.W., Reagan T., Gutierrez J.M., ... Lewis N.E. Model-based assessment of mammalian cell metabolic functionalities using omics data, *Cell Reports Methods*, 2021, vol. 1, no. 3, 100040.

## 生物技術問題的流動建模

Akberdin I.R.
ANO VO 天狼星大學，天狼星，俄羅斯
akberdin.ir@talantiuspeh.ru

開發描述細胞內和細胞外代謝物響應基因修飾和/或環境條件變化的動態變化的數學模型是工程化代謝途徑過程中的一個重要步驟 - 一個現代的，快速的細胞生物學的發展分支，旨在尋找和優化在生命系統中生產目標生物技術產品的方法，或在整個生物體水平上對功能基因型-表型關係的理論定義。 該模型允許在計算機上預測提高細胞培養物生長速率所必需的遺傳修飾（基因敲除、啟動子修飾），以及在最佳條件下並取決於各種底物的細胞培養物生長過程中目標產物的產量［1，2］。 在系統生物學的這個發展方向中，基於全基因組

的代謝網絡的創建（GENRE，GENome-scale Network REconstruction）是最有前途的。 GENRE 重建基於將整個基因組和基因表達的信息與構成代謝途徑的流量分佈或反應速率的模型預測、特定於每個研究生物體的生物量和能量成本的模型預測相結合的代謝組學數據 [3]。 目前，模式生物代謝的數學模型已經創建並發表：大腸桿菌、枯草芽孢桿菌、秀麗隱桿線蟲、斑紋線蟲、黑腹果蠅、小家鼠、褐家鼠，它們是基於重建的在全基因組數據上，並在各種實驗數據上成功驗證。 為了進一步發展這一知識領域，需要開發構建全基因組模型和構建新的非模式生物模型的方法，這既具有基礎意義，也具有應用意義。

報告將介紹創建代謝模型的主要階段，將 omix 數據整合到相應模型的方法的回顧，以及它們進一步分析和驗證的問題，以非模型生物，甲烷氧化細菌 *Methylotuvimicrobium alcaliphilum* 20ZR 為例.

這項工作得到了 RSF 資助號 23-24-00606 的支持。

文學

1. Gu C., Kim G.B., Kim W.J., Kim H.U., Lee S.Y. Current status and applications of genome-scale metabolic models, *Genome Biology*, 2019, vol. 20, P. 1-18.

2. Walakira A., Rozman D., Režen T., Mraz M., Moškon M. Guided extraction of genome-scale metabolic models for the integration and analysis of omics data, *Computational Structural Biotechnology Journal*, 2021, vol. 19, P. 3521-3530.

3. Richelle A., Kellman B.P., Wenzel A.T., Chiang A.W., Reagan T., Gutierrez J.M., ... Lewis N.E. Model-based assessment of mammalian cell metabolic functionalities using omics data, *Cell Reports Methods*, 2021, vol. 1, no. 3, 100040.

DOI 10.18699/sblai2023-16

## *Методы глубокого машинного обучения в феномике растений*

Афонников Д.А.
Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия
ada@bionet.nsc.ru

Современная генетика сельскохозяйственных растений основана на поиске генов, контролирующих важные признаки, на основе полногеномных ассоциаций «генотип–фенотип». Для повышения точности анализа требуется оценка сотен и тысяч образцов в одном эксперименте. Для этого необходима обработка больших данных по фенотипам растений. Эти задачи активно решаются в рамках феномики – новой области науки, направленной на автоматическую массовую оценку фенотипа растений. Методы феномики основаны, прежде всего, на анализе цифровых изображений, как с помощью обычных алгоритмов, так и с помощью методов глубокого машинного обучения.

Методы глубокого машинного обучения направлены на более точное извлечение фенотипических характеристик растений на основе машинного обучения и применяются как в решении задачи сегментации, классификации изображений, так и в поиске объектов на изображении. В докладе будут представлены применение методов глубокого машинного обучения для распознавания грибных заболеваний пшеницы, в задаче анализа и классификации колосьев пшеницы, подсчета колосьев на изображениях посевов пшеницы, полученных с помощью БПЛА.

Работа частично поддержана грантом РНФ № 23-14-00150.

## *Deep machine learning methods for plant phenomics*

Afonnikov D.A.
Institute of Cytology and Genetics of SB RAS, Novosibirsk, Russia
ada@bionet.nsc.ru

Modern genetics of crops is based on the search for genes that control important traits, based on genome-wide associations between genotype and phenotype. To increase the accuracy of the analysis, an assessment of hundreds and thousands of samples in one experiment is required. This requires processing big data on plant phenotypes. These tasks are being actively solved within the framework of phenomics, a new field of plant science aimed at automatic high troughput assessment of plant phenotype. The methods of phenomics are based primarily on the analysis of digital images, both using conventional algorithms and deep machine learning methods.

Deep machine learning methods are aimed at more accurate extraction of plant phenotypic characteristics and used both in solving the problem of segmentation, image classification, as well as searching for objects in the image. The report will present the application of deep machine learning methods for recognizing fungal diseases of wheat, in the task of analyzing and classifying wheat ears, counting ears on images of wheat crops obtained using UAVs.

The work supported in part by RSF grant No. 23-14-00150.

## 植物表型學的深度機器學習方法

Afonnikov D.A.
ICG SB RAS，新西伯利亞，俄羅斯
ada@bionet.nsc.ru

現代農業植物遺傳學基於基於全基因組基因型-表型關聯尋找控制重要性狀的基因。 提高分析的準確性需要在單個實驗中評估成百上千個樣本。 這需要處理植物表型的大數據。 這些任務正在表型組學的框架內積極解決，表型組學是一個旨在對植物表型進行自動大規模評估的新科學領域。 現象學方法主要基於對數字圖像的分析，既有傳統算法的幫助，
也有深度機器學習方法的幫助。

深度機器學習方法旨在基於機器學習更準確地提取植物表型特徵，用於解決圖像中的分割、圖像分類和對象搜索等問題。 該報告將介紹深度機器學習方法在識別小麥真菌病害方面的應用，分析和分類麥穗問題，
在使用無人機獲得的小麥作物圖像上計算穗數。

這項工作得到了俄羅斯科學基金會第 23-14-00150 號贈款的部分支持。

DOI 10.18699/sblai2023-17

## *Геометрия фазовых портретов одного класса генных сетей*

Голубятников В.П.
Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
vladimir.golubyatnikov1@fulbrightmail.org

В недавней работе [1] исследована нелинейная динамическая система, описывающая генную сеть, которая контролирует функциональное состояние эмбриональных стволовых клеток мыши; там же были проведены вычислительные эксперименты, позволившие дать численное описание параметров модели, гарантирующих бистабильность этой системы.

С помощью методов качественной теории дифференциальных уравнений и подходов, разработанных нами в [2], мы исследуем фазовые портреты аналогичных динамических

систем и распространяем результаты, полученные в [1], на более широкие области параметров и на более общий вид правых частей уравнений. В частности, при описании отрицательных регуляторных связей здесь, кроме монотонно убывающих функций Хилла, можно использовать любые монотонно убывающие функции.

Установлены условия, при которых такие системы имеют несколько стационарных решений. Вопросы устойчивости этих решений сведены к проверке известного критерия Вышнеградского и к другим алгебраическим процедурам. Так же, как и в [2], показано, что около неустойчивых решений могут возникать циклы.

***Литература***

1. Akberdin I.R., Omelyanchuk N.A., Fadeev S.I., Leskova N.E., Oschepkova E.A., Kazantsev F.V., Matushkin Yu.G., Afonnikov D.A., Kolchanov N.A. Pluripotency gene network dynamics: System views from parametric analysis, PLoS ONE, 2018, vol.13, no. 3, e0194464.

2. Golubyatnikov V.P., Podkolodnaya O.A., Podkolodnyy N.L., Ayupova N.B., Kirillova N.E., Yunosheva E.V. On conditions for the existence of cycles in two models of a circadian oscillator of mammals, Journal of Applied and Industrial Mathematics, 2021, vol. 15, no 4, P. 597-608.

## *Geometry of phase portraits of one class of gene networks models*

Golubyatnikov V.P.
Sobolev Institute of Mathematics of SB RAS, Novosibirsk, Russia
vladimir.golubyatnikov1@fulbrightmail.org

Recent publication [1] was devoted to investigation of one non-linear dynamical system considered as a model of gene network which controls functional states of embryonic stem cells of a mouse. Numerical experiments were done in this work in order to describe conditions of bi-stability of this model in terms of its parameters.

On the basis of Qualitative Theory of Differential Equations, using approaches elaborated in [2], we study phase portraits of analogous dynamical systems and extend results of the paper [1] to more wide domains of parameters, and to more general right-hand sides of the equations. In particular, we show that it is not necessary to use only the Hill's decreasing functions in description of negative regulatory feedbacks. Here, any monotonically decreasing function gives the same result in modeling of similar gene networks.

We obtain conditions of existence of several equilibrium solutions to these dynamical systems. Stability of these equilibriums can be verified with the help of Vyshnegradskii criterion or by other algebraic procedures. As in [2], we show that some neighborhoods of unstable equilibrium solutions can contain cycles of these systems.

***References***

1. Akberdin I.R., Omelyanchuk N.A., Fadeev S.I., Leskova N.E., Oschepkova E.A., Kazantsev F.V., Matushkin Yu.G., Afonnikov D.A., Kolchanov N.A. Pluripotency gene network dynamics: System views from parametric analysis, PLoS ONE, 2018, vol.13, no. 3, e0194464.

2. Golubyatnikov V.P., Podkolodnaya O.A., Podkolodnyy N.L., Ayupova N.B., Kirillova N.E., Yunosheva E.V. On conditions for the existence of cycles in two models of a circadian oscillator of mammals, Journal of Applied and Industrial Mathematics, 2021, vol. 15, no 4, P. 597-608.

## 一類基因網絡的相圖幾何

Golubyatnikov V.P. 副總裁
IM SB RAS，新西伯利亞，俄羅斯
vladimir.golubyatnikov1@fulbrightmail.org

在最近的一項工作中［1]，研究了描述控制小鼠胚胎幹細胞功能狀態的基因網絡的非線性動態系統； 在那裡進行了計算實驗，這使得可以對保證該系統雙穩態的模型參數進行數值描述。

使用微分方程定性理論的方法和我們在［2］中開發的方法，我們研究了類似動力系統的相圖，並將［1］中獲得的結果擴展到更廣泛的參數範圍和更一般的形式等式的右邊。 特別地，在描述負調節關係時，這裡除了單調遞減的希爾函數外，還可以使用任何單調遞減的函數。

建立了這樣的系統具有多個固定解決方案的條件。 這些解決方案的穩定性問題簡化為檢查著名的 Vyshnegradsky 準則和其他代數程序。 正如在［2］中一樣，它表明循環可能在不穩定的解決方案附近出現。

文學

1. Akberdin I.R., Omelyanchuk N.A., Fadeev S.I., Leskova N.E., Oschepkova E.A., Kazantsev F.V., Matushkin Yu.G., Afonnikov D.A., Kolchanov N.A. Pluripotency gene network dynamics: System views from parametric analysis, PLoS ONE, 2018, vol.13, no. 3, e0194464.

2. Golubyatnikov V.P., Podkolodnaya O.A., Podkolodnyy N.L., Ayupova N.B., Kirillova N.E., Yunosheva E.V. On conditions for the existence of cycles in two models of a circadian oscillator of mammals, Journal of Applied and Industrial Mathematics, 2021, vol. 15, no 4, P. 597-608.

DOI 10.18699/sblai2023-18

## *Нейронно-сетевые аспекты регуляции поведения*

Дыгало Н.Н.
Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия
dygalo@bionet.nsc.ru

Основой активности центральной нервной системы и поведения являются функции больших и локальных нейронных сетей мозга. Магнитно-резонансно-томографические исследования свидетельствуют о смене под влиянием внешних и/или внутренних стимулов активности мозга, а также матрицы функциональной коннективности его нейронных ансамблей, что, как полагают, и приводит к индукции определенного поведения. Коннективность базируется на активности нейронов и является проявлением связей областей мозга, интегрирующих сенсорные, когнитивные и моторные функции. Хемогенетическая модуляция активности разнообразных групп и типов нейронов изменяет коннективность мозга. В связи с этим возникает предположение о возможности использования хемогенетики для коррекции поведения и перестройки патологических механизмов нервных и психических заболеваний путем воздействия на коннективность, повышая или снижая активность одной или нескольких групп взаимодействующих нейронов. Оценка такой возможности путем хемогенетической параллельной однонаправленной или разнонаправленной модуляции активности удаленных нейронных популяций мозга, участвующих в регуляции психоэмоционального поведения, свидетельствует о реальности «управления» поведением на основе нейронно-сетевых механизмов его регуляции.

## *Neural network aspects of behavior regulation*

Dygalo N.N.
Institute of Cytology and Genetics of SB RAS, Novosibirsk, Russia
dygalo@bionet.nsc.ru

The basis of the activity of the central nervous system and behavior are the functions of large and local neural networks of the brain. External and/or internal stimuli, as evidenced by magnetic resonance imaging studies change the activity of the brain, as well as the matrix of functional connectivity of its neural ensembles, which believed to lead to the induction of certain behavior. Connectivity is based on the activity of neurons and is a manifestation of the interaction of brain regions that integrate sensory, cognitive and motor functions. Chemogenetic modulation of the

activity of various groups and types of neurons changes the connectivity of the brain. In this regard, there is an assumption about the possibility of using chemogenetics to correct behavior and restructure the pathological mechanisms of nervous and mental diseases by influencing connectivity, by increasing or decreasing the activity of one or more groups of interacting neurons. Evaluation of this possibility by chemogenetic parallel unidirectional or multidirectional modulation of the activity of remote neuronal populations of the brain involved in the regulation of psycho-emotional behavior indicates the reality of "control" of behavior based on neural network mechanisms of its regulation.

行為調節的神經網絡方面
Dygalo N.N.
聯邦研究中心細胞學和遺傳學研究所，俄羅斯科學院西伯利亞分院，俄羅斯新西伯利亞
dygalo@bionet.nsc.ru

中樞神經系統活動和行為的基礎是大腦的大型局部神經網絡的功能。 磁共振成像研究表明，在外部和/或內部刺激的影響下，大腦活動及其神經集合的功能連接矩陣發生了變化，這被認為會導致某些行為的誘發。 連通性基於神經元的活動，是整合感覺、認知和運動功能的大腦區域連接的表現。 各種神經元組和類型的活動的化學遺傳學調節改變了大腦的連通性。 在這方面，有一種假設認為，通過影響連通性、增加或減少一組或多組相互作用的神經元的活動，可以使用化學遺傳學來糾正行為並重構神經和精神疾病的病理機制。 通過化學遺傳學平行單向或多向調製參與心理情緒行為調節的大腦遠程神經元群的活動來評估這種可能性，表明基於其調節的神經網絡機制的行為"控制"的現實。

DOI 10.18699/sblai2023-19

## *Применение методов искусственного интеллекта и анализа генных сетей для интерпретации омиксных данных*

Иванисенко В.А.*, Вензель А.С., Деменков П.С., Иванисенко Т.В., Антропова Е.А., Гайслер Е.В., Рогачев А.Д., Покровский А.Г., Колчанов Н.А.
Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия
* salix@bionet.nsc.ru

Работа посвящена когнитивной программно-информационной платформе ANDSystem [1, 2], предназначенной для автоматического извлечения знаний из неструктурированных текстов научных публикаций. ANDSystem позволяет учитывать 12 типов молекулярно-биологических объектов, включая организмы, клетки/ткани, болезни, гены, метаболиты, лекарства и др. Система обеспечивает автоматическую экстракцию из текстов знаний о физических взаимодействиях, каталитических реакциях, регуляторных взаимосвязях, таких как регуляция экспрессии, регуляция активности, регуляция стабильности и т. д. (всего более 20 типов).

Основные модули ANDSystem включают в себя: модуль онтологического описания предметной области, содержащий словари объектов и семантико-лингвистические правила взаимоотношений между ними; модуль распознавания поименованных сущностей; модуль извлечения знаний о взаимодействиях; базу, содержащую экстрагированную информацию, в виде графа знаний; программу ANDVisio, обеспечивающую пользовательский графический интерфейс для доступа к базе знаний, а также реконструкции и анализа генных сетей.

Извлечение знаний осуществляется разработанной системой в четыре этапа. На первом этапе производится первичная экстракция взаимодействий на основе сформированного вручную набора семантико-лингвистических правил и шаблонов. На втором этапе экстрагированная таким образом информация о взаимодействиях между объектами добавляется в разметку текста для формирования обучающих выборок, а также выполняется

автоматическая реконструкция графа знаний. На третьем этапе с помощью сформированных выборок проводится тонкая настройка предобученных генеративных нейронных сетей, реализующих архитектуры GPT-3 и BERT. Также с использованием реконструированного графа знаний и алгоритма GraphSAGE выполняется обучение графовой нейронной сети. Полученные нейронные сети используются для уточнения типов объектов, распознанных по словарю, а также для дополнительного расширения числа взаимодействий, в дополнение к извлеченным с помощью семантико-лингвистическими шаблонами.

ANDSystem нашла успешное применение в решении широкого спектра задач из области биологии и биомедицины, включая исследования молекулярных механизмов заболеваний, интерпретацию омиксных данных и другие. В настоящее время метаболомный анализ является одной из широко применяемых технологий в различных областях биомедицинских исследований. С использованием системы ANDSystem была выполнена интерпретация данных метаболомного анализа образцов крови плазмы пациентов с COVID-19 [3]. В частности, с помощью реконструированных регуляторных генных сетей была выявлена роль неструктурных вирусных белков SARS-CoV-2 в метаболических дисфункциях у пациентов. Реконструированные генные сети играют важную роль в исследовании молекулярных механизмов взаимодействия вирус–хозяин при COVID-19 и служат основой для дальнейших экспериментальных и компьютерных исследований регуляции метаболических путей белками SARS-CoV-2.

***Литература***

1 Ivanisenko T.V., Saik O.V., Demenkov P.S., Ivanisenko N.V., Savostianov A.N., Ivanisenko V.A. ANDDigest: a new web-based module of ANDSystem for the search of knowledge in the scientific literature, BMC Bioinformatics, 2020, vol. 21, P. 228.

2. Ivanisenko V.A., Demenkov P.S., Ivanisenko T.V., Mishchenko E.L., Saik O.V. A new version of the ANDSystem tool for automatic extraction of knowledge from scientific publications with expanded functionality for reconstruction of associative gene networks by considering tissue- specific gene expression, BMC Bioinformatics, 2019, vol. 20.(Suppl 1), P. 34.

3. Ivanisenko V.A., Gaisler E.V., Basov N.V., Rogachev A.D., Cheresiz S.V., Ivanisenko T.V., ... Pokrovsky A.G. Plasma metabolomics and gene regulatory networks analysis reveal the role of nonstructural SARS-CoV-2 viral proteins in metabolic dysregulation in COVID-19 patients, Scientific Reports, 2022, vol. 12, P. 19977.

## *Application of artificial intelligence methods and gene networks analysis for the interpretation of omics data*

Ivanisenko V.A.*, Venzel A.S., Demenkov P.S., Ivanisenko T.V., Antropova E.A., Gaisler E.V., Rogachev A.D., Pokrovsky A.G., Kolchanov N.A.
Institute of Cytology and Genetics of SB RAS, Novosibirsk, Russia
* salix@bionet.nsc.ru

The ANDSystem, a cognitive software and information system, has been developed for the automated extraction of knowledge from scientific literature [1, 2]. It encompasses 12 object types, such as organisms, cells/tissues, diseases, genes, metabolites, drugs, and more. The system extracts information on physical interactions, catalytic reactions, and regulatory relationships (over 20 types) from texts.

The core modules of the ANDSystem include: an ontology module with object dictionaries and semantic-linguistic rules; a named entity recognition module; a knowledge extraction module; a knowledge base featuring a knowledge graph; and the ANDVisio program, offering a user-friendly graphical interface for knowledge base access, as well as gene network reconstruction and analysis. Knowledge extraction consists of four stages:

1. Interaction extraction using semantic-linguistic templates.

2. Addition of interaction information between objects to text markup for neural network training, followed by knowledge graph reconstruction.

3. Fine-tuning of pre-trained GPT and BERT transformers with mapped texts, and graph

neural network training using the knowledge graph.

4. Identification of new interactions using trained neural networks, supplementing those extracted with semantic-linguistic templates.

The ANDSystem has been employed to address various issues in biomedicine, including the reconstruction of molecular disease mechanisms and the interpretation of omics data. Metabolomic analysis is currently a prevalent omics technology within biomedical research. Utilizing the ANDSystem, we interpreted data from a metabolomic analysis of blood plasma samples from COVID-19 patients [3]. This gene regulatory network reconstruction highlighted the role of nonstructural SARS-CoV-2 viral proteins in metabolic dysregulation among patients. The reconstructed gene networks offer insights into the molecular mechanisms of virus–host interactions in COVID-19 pathology and lay the foundation for subsequent experimental and computational investigations of metabolic pathway regulation by SARS-CoV-2 proteins.

***References***

1 Ivanisenko T.V., Saik O.V., Demenkov P.S., Ivanisenko N.V., Savostianov A.N., Ivanisenko V.A. ANDDigest: a new web-based module of ANDSystem for the search of knowledge in the scientific literature, BMC Bioinformatics, 2020, vol. 21, P. 228.

2. Ivanisenko V.A., Demenkov P.S., Ivanisenko T.V., Mishchenko E.L., Saik O.V. A new version of the ANDSystem tool for automatic extraction of knowledge from scientific publications with expanded functionality for reconstruction of associative gene networks by considering tissue- specific gene expression, BMC Bioinformatics, 2019, vol. 20.(Suppl 1), P. 34.

3. Ivanisenko V.A., Gaisler E.V., Basov N.V., Rogachev A.D., Cheresiz S.V., Ivanisenko T.V., ... Pokrovsky A.G. Plasma metabolomics and gene regulatory networks analysis reveal the role of nonstructural SARS-CoV-2 viral proteins in metabolic dysregulation in COVID-19 patients, Scientific Reports, 2022, vol. 12, P. 19977.

## 人工智能方法和基因網絡分析在組學數據解釋中的應用

Ivanisenko V.A.*, Venzel A.S., Demenkov P.S., Ivanisenko T.V., Antropova E.A., Gaisler E.V., Rogachev A.D., Pokrovsky A.G., Kolchanov N.A.
ICG SB RAS，新西伯利亞，俄羅斯
* salix@bionet.nsc.ru

ANDSystem 是一種認知軟件和信息系統，已開髮用於從科學文獻中自動提取知識[1,2]。 它包含 12 種對像類型，例如生物體、細胞/組織、疾病、基因、代謝物、藥物等。 該系統從文本中提取有關物理相互作用、催化反應和調節關係（超過 20 種）的信息。

ANDSystem 的核心模塊包括： 帶有對象字典和語義語言規則的本體模塊； 命名實體識別模塊； 知識抽取模塊； 以知識圖譜為特色的知識庫； ANDVisio 程序，為知識網絡庫訪問以及基因重建和分析提供了一個用戶友好的圖形界面。 知識抽取包括四個階段：

1. 使用語義-語言模板進行交互提取。

2. 將對象之間的交互信息添加到文本標記中用於神經網絡訓練，然後進行知識圖譜重建。

3. 使用映射文本微調預訓練的 GPT 和 BERT 轉換器，並使用知識圖譜訓練圖神經網絡。

4. 使用經過訓練的神經網絡識別新的交互，補充用語義語言模板提取的交互。

ANDSystem 已被用於解決生物醫學中的各種問題，包括分子疾病機制的重建和組學數據的解釋。 代謝組學分析目前是生物醫學研究中普遍使用的組學技術。 利用 ANDSystem，我們解釋了來自 COVID-19 患者血漿樣本的代謝組學分析數據 [3]。 這種基因調控網絡重建突出了非結構性 SARS-CoV-2 病毒蛋白在患者代謝失調中的作用。 重建的基因網絡提供了對 COVID-19 病理學中病毒與宿主相互作用的分子機制的見解，並為隨後對 SARS-CoV-2 蛋白調控代謝途徑的實驗和計算研究奠定了基礎。

文學
1 Ivanisenko T.V., Saik O.V., Demenkov P.S., Ivanisenko N.V., Savostianov A.N., Ivanisenko V.A. ANDDigest: a new web-based module of ANDSystem for the search of knowledge in the scientific literature, BMC Bioinformatics, 2020, vol. 21, P. 228.
2. Ivanisenko V.A., Demenkov P.S., Ivanisenko T.V., Mishchenko E.L., Saik O.V. A new version of the ANDSystem tool for automatic extraction of knowledge from scientific publications with expanded functionality for reconstruction of associative gene networks by considering tissue- specific gene expression, BMC Bioinformatics, 2019, vol. 20.(Suppl 1), P. 34.
3. Ivanisenko V.A., Gaisler E.V., Basov N.V., Rogachev A.D., Cheresiz S.V., Ivanisenko T.V., ... Pokrovsky A.G. Plasma metabolomics and gene regulatory networks analysis reveal the role of nonstructural SARS-CoV-2 viral proteins in metabolic dysregulation in COVID-19 patients, Scientific Reports, 2022, vol. 12, P. 19977.

DOI 10.18699/sblai2023-20

## *Миграционное клеточное обеспечение нормального функционирования иммуно-структурного гомеостаза*

Козлов В.А.
Институт фундаментальной и клинической иммунологии СО РАН, Новосибирск, Россия

Тимус, как и костный мозг, является центральным органом иммунной системы. Однако именно тимус является источником Т лимфоцитов, которые мигрируют из тимуса на периферию в виде двух значимых популяций лимфоцитов: наивные Т-клетки и регуляторные Т-клетки (Treg). Функциональная активность этих двух суперпопуляций Т-клеток обеспечивает, наравне с мигрантами из костного мозга, нормальное функционирование иммунной системы в организме. Нарушение нормального функционирования мигрантов из тимуса в первую очередь является фактором формирования в организме иммунопатологических заболеваний, включая аутоиммунные и аллергические заболевания, атеросклероз, онкологию. По-видимому, одним из ведущих условий нормального функционирования иммунной системы являются миграционные процессы клеток между костным мозгом, тимусом и периферическими лимфоидными органами. При этом наряду с популяциями клеток со своими специфическими, органными характеристиками, располагающимися постоянно в различных органах, имеются популяции клеток, недавно мигрировавших из одних органов в другие, которые уже «потеряли» отдельные характеристики органов, из которых они мигрировали, но еще не приобрели характеристики органов, в которые они мигрировали. Любое нарушение процессов миграции клеток между указанными органами иммунной системы несет существенные помехи нормальному функционированию иммунной системы с формированием иммунопатологического состояния. По-видимому, в основном эти клетки, популяционные мигранты, циркулируют по кровеносным и лимфатическим сосудам. Следует учитывать, что именно эти клетки являются источником информации состояния в организме, прежде всего гомеостатических иммунной и кровеносной систем.

## *Cell migration support for normal functioning of the immune-structural homeostasis*

Kozlov V.A.
Institute of Fundamental and Clinical Immunology of SB RAS, Novosibirsk, Russia

The thymus, like the bone marrow, is the central organ of the immune system. However, only the thymus is a source of T lymphocytes, which migrate from it to the periphery as two significant populations of lymphocytes: naive T-cells and regulatory T-cells (Treg). The functional activity of these two superpopulations of T-cells, along with migrants from the bone marrow, ensures the normal functioning of the immune system in the body. Impairment of the normal functioning of migrants from the thymus, primarily, is a factor in the formation of immunopathological diseases in the body, including autoimmune and allergic diseases, atherosclerosis, and oncology. Apparently, one of the

leading conditions for the normal functioning of the immune system is the migration process of cells between the bone marrow, thymus, and peripheral lymphoid organs. At the same time, along with populations of cells with their specific, organ characteristics, constantly located in various organs, there are populations of cells that have recently migrated from one organ to another, which have already "lost" individual characteristics of the organs from which they migrated but have not yet acquired the characteristics of organs to which they migrated. Any disruption of cell migration processes between the specified organs of the immune system causes significant interference with the normal functioning of the immune system, leading to the formation of an immunopathological state. Apparently, these cells, population migrants, are mainly circulating in the blood and lymphatic vessels. It should be considered that these cells are the source of information about the state in the body, primarily of the homeostatic immune and circulatory systems.

遷移細胞支持免疫結構穩態的正常功能

Kozlov V.A. 科茲洛夫
基礎和臨床免疫學研究所 SB RAS，新西伯利亞

胸腺是免疫系統的中心器官，骨髓也是如此。 然而，只有胸腺是 T 淋巴細胞的來源，T 淋巴細胞以兩個重要的淋巴細胞群的形式從胸腺遷移到外周：幼稚 T 細胞和調節性 T 細胞 (Treg)。 這兩個 T 細胞超群以及來自骨髓的遷移物的功能活動確保了體內免疫系統的正常運作。 違反胸腺遷移物的正常功能，首先是體內免疫病理疾病形成的一個因素，包括自身免疫和過敏性疾病、動脈粥樣硬化和腫瘤。 顯然，免疫系統正常運作的主要條件之一是細胞在骨髓、胸腺和外周淋巴器官之間的遷移過程。 與此同時，隨著永久位於各種器官中的具有特定器官特徵的細胞群，還有最近從一個器官遷移到另一個器官的細胞群，它們已經“失去”了器官的某些特徵他們遷移了，但還沒有獲得他們遷移到的器官。 任何違反免疫系統這些器官之間細胞遷移過程的行為都會嚴重干擾免疫系統的正常功能，
從而形成免疫病理狀態。 顯然，這些細胞，人口遷移，主要通過血液和淋巴管循環。 應該考慮到正是這些細胞是有關身體狀態的信息來源，主要是穩態免疫和循環系統。

DOI 10.18699/sblai2023-21

***Сетевая организация живых систем: от генных сетей к сетям социальным***

Колчанов Н.А.*, Иванисенко В.А., Лашин С.А., Пономаренко М.П.
Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия
* kol@bionet.nsc.ru

В основе функционирования всех типов живых систем лежат генные сети (ГС) – группы координированно функционирующих генов, взаимодействующих друг с другом через продукты – РНК, белки, метаболиты и др., обеспечивающие на основе информации, закодированной в геномах, формирование всех фенотипических характеристик организмов (молекулярных, биохимических, клеточных, физиологических, морфологических, поведенческих и т. д.). Обязательные компоненты ГС – пути передачи сигналов, метаболические пути, сети белок-белковых взаимодействий, регуляторные контуры с отрицательными и положительными обратными связями. ГС могут включать от десятков до многих тысяч генов, РНК, белков, метаболитов и миллионы взаимодействий между ними. Функционирование одних ГС может быть ограничено объемом отдельных клеток, в то время как молекулярные компоненты других генных сетей могут быть распределены по множеству морфологических структур (клеток, тканей и органов). Реконструкция ГС, анализ структурно-функциональной организации и компьютерное моделирование их динамики необходимы для решения широкого круга задач в таких областях, как медицина, фармакология, сельское хозяйство, биотехнологии. К числу ключевых задач относятся: реконструкция молекулярно-

генетических механизмов возникновения и развития патологий человека, поиск новых фармакологических мишеней для терапии заболеваний, поиск молекулярных маркёров для селекции сортов растений и пород животных с улучшенными характеристиками, конструирование новых штаммов микроорганизмов с целевыми свойствами – продуцентов биотехнологически ценных белков и метаболитов. В докладе рассмотрены: а) методы системной компьютерной биологии и глубокого машинного обучения для реконструкции ГС на основе анализа больших генетических данных, получаемых с помощью омиксных технологий (геномики, транскриптомики, протеомики, метаболомики); б) методы компьютерного анализа графов генных сетей для выявления ключевых элементов (генов, РНК, белков, метаболитов), наиболее значимых для функционирования ГС; в) методы моделирования динамики функционирования ГС для поиска молекулярных мишеней (генов, РНК, белков), воздействия на которые, включая фармакологические воздействия или влияние мутаций, приводит к выраженному изменению функционирования генных сетей; г) методы конструирования интерпретируемых нейронных сетей, описывающих динамику функционирования ГС, основанные на задании их топологии согласно онтологии структур, функций и процессов предметной области «Генные сети». В заключительной части доклада рассмотрены подходы к конструированию сетей социальных сообществ, основанные на онтологическом описании предметной области «Качество жизни».

***Network organization of living systems: from gene networks to social networks***

Kolchanov N.A.*, Ivanisenko V.A., Lashin S.A., Ponomarenko M.P.
Institute of Cytology and Genetics of SB RAS, Novosibirsk, Russia
* kol@bionet.nsc.ru

The functioning of all types of living systems is based on gene networks (GNs) – groups of coordinately functioning genes that interact with each other through products – RNA, proteins, metabolites, and others, providing the formation of all phenotypic characteristics of organisms (molecular, biochemical, cellular, physiological, morphological, behavioral, etc.) based on the information encoded in genomes. Essential components of GNs include signal transduction pathways, metabolic pathways, protein-protein interaction networks, and regulatory circuits with negative and positive feedback loops. GNs can include from tens to many thousands of genes, RNAs, proteins, metabolites, and millions of interactions between them. The functioning of some GNs may be limited to individual cells, while the molecular components of other gene networks can be distributed across multiple morphological structures (cells, tissues, and organs). The reconstruction of GNs, analysis of their structural-functional organization, and computer modeling of their dynamics are necessary for solving a wide range of tasks in areas such as medicine, pharmacology, agriculture, and biotechnology. Key tasks include the reconstruction of molecular-genetic mechanisms of the emergence and development of human pathologies, the search for new pharmacological targets for disease therapy, the identification of molecular markers for selecting plant varieties and animal breeds with improved characteristics, and the construction of new strains of microorganisms with target properties – producers of biotechnologically valuable proteins and metabolites. The report considers: (a) methods of computational systems biology and deep machine learning for GN reconstruction based on the analysis of large genetic data obtained using omics technologies (genomics, transcriptomics, proteomics, metabolomics); (b) methods of computer analysis of gene network graphs to identify key elements (genes, RNAs, proteins, metabolites) most significant for GN functioning; (c) methods of modeling the dynamics of GN functioning to search for molecular targets (genes, RNAs, proteins) whose impact (including pharmacological effects or the influence of mutations) leads to significant changes in gene network functioning; (d) methods of constructing interpretable neural networks describing the dynamics of GN functioning based on the assignment of their topology according to the ontology of structures, functions, and processes of the “Gene networks” subject area. In the final part of the report, approaches to the construction of social community networks based on the ontological description of the subject area “Quality of life” are

considered.

生命系統的網絡組織：從基因網絡到社會網絡

在。

Kolchanov N.A.*, Ivanisenko V.A., Lashin S.A., Ponomarenko M.P.
拉辛，國會議員 波諾馬連科
ICG SB RAS，俄羅斯新西伯利亞
* kol@bionet.nsc.ru

所有類型的生命系統的功能都基於基因網絡（GNs）- 協調功能的基因組通過產物 - RNA、蛋白質、代謝物等相互作用，在基因組中編碼的信息的基礎上提供生物體所有表型特徵的形成（分子、生化、細胞、生理、形態、行為等）。 GS 的強制性組成部分是信號轉導途徑、代謝途徑、蛋白質-蛋白質相互作用網絡、具有負反饋和正反饋的調節迴路。 GS 可以包括從數万到數千個基因、RNA、蛋白質、代謝物以及它們之間的數百萬種相互作用。 一些 GS 的功能可能受到單個細胞體積的限制，而其他基因網絡的分子成分可以分佈在各種形態結構（細胞、組織和器官）中。 HSs 的重建、結構和功能組織的分析及其動力學的計算機模擬對於解決醫學、藥理學、農業和生物技術等領域的廣泛問題是必要的。 重點任務包括：重構人類病理髮生和發展的分子遺傳機制，尋找治療疾病的新藥理靶點，尋找分子標記用於培育具有改良特性的植物品種和動物品種，構建具有目標特性的新型微生物菌株——具有生物技術價值的蛋白質和代謝物的生產者。 該報告考慮了：(a) 基於使用組學技術（基因組學、轉錄組學、蛋白質組學、代謝組學）獲得的大遺傳數據分析重建 GS 的系統計算機生物學和深度機器學習方法；(b) 基因網絡圖的計算機分析方法，以確定對 GS 功能最重要的關鍵要素（基因、RNA、蛋白質、代謝物）；(c) 模擬 GS 功能以搜索分子目標（基因、RNA、蛋白質）的動力學方法，其影響（包括藥理作用或突變的影響）導致基因網絡功能的顯著變化； (d) 構建描述 GS 功能動態的可解釋神經網絡的方法，基於根據基因網絡主題領域的結構、功能和過程的本體設置其拓撲結構。 在報告的最後部分，考慮了基於主題領域“生活質量”的本體論描述來構建社會社區網絡的方法。

DOI 10.18699/sblai2023-22

***Нейросетевое моделирование распространения COVID-19 с учетом социально-экономических процессов***

Криворотько О.И.[1,2]*, Кабанихин С.И.[1], Зятьков Н.Ю.[1]
[1] Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия
[2] Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия
* krivorotko.olya@mail.ru

Сложность описания эпидемических процессов возрастает с появлением новых вирусов (новые штаммы COVID-19, туберкулеза и др.) и влиянием социально-экономических процессов (изоляция, масочный режим, массовая вакцинация и др.). Процесс и скорость распространения инфекционных заболеваний характеризуются данными, представляющими распределения эпидемиологических характеристик (среднее время течения болезни, инкубационного периода и др.), временные ряды статистических наблюдений (например, количество ежедневно выявленных, госпитализированных, протестированных), законами распространения, а также связанными с ними данными о социально-экономических процессах. Развитие методов машинного обучения и анализа данных позволяет на новом уровне построить модели описания динамики распространения заболеваний с учетом социально-экономических характеристик [1]. В работе построена и оптимизирована

полносвязная рекуррентная нейронная сеть, позволяющая осуществлять недельные прогнозы по количеству ежедневно выявленных и критических (подключенных к аппарату ИВЛ) случаев на основе эпидемиологических и социально-экономических показателей [2, 3]. Численные прогнозы сопоставлены с результатами применения классических компартментных и агентных моделей на примере распространения новой коронавирусной инфекции COVID-19 в Новосибирской области [2, 4]. Показано преимущество использования оптимизированной нейронной сети в случае учета влияния социально-экономических показателей на распространение эпидемии при построении краткосрочных прогнозов.

Работа выполнена при поддержке Математического Центра в Академгородке, соглашение с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2022-281.

***Литература***

1. Nikparvar B., Rahman Md.M., Hatami F., Thill J.-C. Spatio-temporal prediction of the COVID-19 pandemic in US counties: modeling with a deep LSTM neural network, Scientific Reports, 2021, vol. 11, P. 21715.

2. Krivorotko O.I., Zyatkov N.Y. Data-driven regularization of inverse problem for SEIR-HCD model of COVID-19 propagation in Novosibirsk region, Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications, 2022, vol. 10, iss. 1, P. 51-68.

3. Криворотько О.И., Кабанихин С.И. Математические модели распространения COVID-19. Препринт Института математики им. С.Л. Соболева СО РАН, № 300, Новосибирск: ИМ СО РАН, 2022.

4. Krivorotko O., Sosnovskaia M., Vashchenko I., Kerr C., Lesnic D. Agent-based modeling of COVID-19 outbreaks for New York state and UK: parameter identification algorithm, Infectious Disease Modelling, 2022, vol. 7, P. 30-44.

***Neural network modeling of COVID-19 propagation with socio-economic processes***

Krivorotko O.[1, 2]*, Kabanikhin S.[1], Zyatkov N.[1]

[1] Sobolev Institute of Mathematics of SB RAS, Novosibirsk, Russia

[2] Institute of Computational Mathematics and Mathematics Geophysics of SB RAS, Novosibirsk, Russia

* krivorotko.olya@mail.ru

The complexity of describing epidemic processes increases with the emergence of new viruses (new strains of COVID-19, tuberculosis, etc.) and the influence of socio-economic processes (isolation, masking, vaccination, etc.). The process and rate of spread of infectious diseases are characterized by data representing distributions of epidemiological characteristics (average time of disease course, incubation period, etc.), time series of statistical observations (e. g., number of daily detected, hospitalized, tested cases), laws of infectious spread, and related data on socio-economic processes. The development of methods of machine learning and data analysis makes it possible to build models to describe the dynamics of the spread of diseases at a new level taking into account socio-economic characteristics [1]. In this work we have built and optimized a full-connected recurrent neural network, which allows weekly forecasts of the number of daily diagnosed and critical (needed to use the ventilator) cases on the basis of epidemiological and socio-economic indicators [2, 3]. Numerical predictions were compared with the results of classical compartmental and agent-based models described the spread of the new coronavirus infection COVID-19 in Novosibirsk region [2, 4]. The advantage of using an optimized neural network in the case of the influence of socio-economic indicators on the spread of the epidemic and the short-term forecasts are shown.

The work is supported by the Mathematical Center in Akademgorodok under the agreement No. 075-15-2022-281 with the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

## *References*

1. Nikparvar B., Rahman Md.M., Hatami F., Thill J.-C. Spatio-temporal prediction of the COVID-19 pandemic in US counties: modeling with a deep LSTM neural network, Scientific Reports, 2021, vol. 11, P. 21715.

2. Krivorotko O.I., Zyatkov N.Y. Data-driven regularization of inverse problem for SEIR-HCD model of COVID-19 propagation in Novosibirsk region, Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications, 2022, vol. 10, iss. 1, P. 51-68.

3. Krivorotko O.I., Kabanikhin S.I. Mathematical models of the spread of COVID-19. Preprint Institute of Mathematics. S.L. Sobolev SB RAS, no. 300, Novosibirsk: IM SO RAN, 2022. (In Russian)

4. Krivorotko O., Sosnovskaia M., Vashchenko I., Kerr C., Lesnic D. Agent-based modeling of COVID-19 outbreaks for New York state and UK: parameter identification algorithm, Infectious Disease Modelling, 2022, vol. 7, P. 30-44.

## 考慮社會經濟過程的 COVID-19 傳播的神經網絡建模

Krivorotko O.I.[1,2]*, Kabanikhin S.I.[1], Zyatkov N.Yu.[1]

[1] 數學研究所 S.L. Sobolev SB RAS，新西伯利亞，俄羅斯

[2] 計算數學與數學地球物理研究所 SB RAS，新西伯利亞，俄羅斯

* krivorotko.olya@mail.ru

隨著新病毒（COVID-19 新毒株、結核病等）的出現和社會經濟過程（隔離、口罩方案、大規模疫苗接種等）的影響，描述流行病過程的複雜性增加。 傳染病的傳播過程和傳播速度的特點是數據代表流行病學特徵的分佈（病程的平均時間、潛伏期等）、統計觀察的時間序列（例如，每天檢測到的人數） 、住院、檢測）、分佈規律，以及社會經濟過程的相關數據。 機器學習和數據分析方法的發展使得在新的水平上建立描述疾病傳播動態的模型成為可能，同時考慮到社會經濟特徵[1]。 在這項工作中建立並優化了一個完全連接的循環神經網絡，它允許根據流行病學和社會經濟指標 [2、3] 對每日檢測到的和危急（連接到呼吸機）病例的數量進行每週預測。 以新型冠狀病毒感染 COVID-19 在新西伯利亞地區的傳播為例，將數值預測與應用經典隔室模型和代理模型的結果進行比較 [2, 4]。 在建立短期預測時考慮到社會經濟指標對流行病傳播的影響的情況下，顯示了使用優化神經網絡的優勢。

這項工作得到了 Akademgorodok 數學中心的支持，該中心與俄羅斯聯邦科學和高等教育部達成了第 075-15-2022-281 號協議。

文學

1. Nikparvar B., Rahman Md.M., Hatami F., Thill J.-C. Spatio-temporal prediction of the COVID-19 pandemic in US counties: modeling with a deep LSTM neural network, Scientific Reports, 2021, vol. 11, P. 21715.

2. Krivorotko O.I., Zyatkov N.Y. Data-driven regularization of inverse problem for SEIR-HCD model of COVID-19 propagation in Novosibirsk region, Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications, 2022, vol. 10, iss. 1, P. 51-68.

3. Krivorotko O.I., Kabanikhin S.I. Mathematical models of the spread of COVID-19. Preprint Institute of Mathematics. S.L. Sobolev SB RAS, no. 300, Novosibirsk: IM SO RAN, 2022. (In Russian)

4. Krivorotko O., Sosnovskaia M., Vashchenko I., Kerr C., Lesnic D. Agent-based modeling of COVID-19 outbreaks for New York state and UK: parameter identification algorithm, Infectious Disease Modelling, 2022, vol. 7, P. 30-44.

DOI 10.18699/sblai2023-23

## *Реконструкция математических моделей живых систем: проблемы и перспективы*

Лашин С.А.
Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия
lashin@bionet.nsc.ru

Биологические системы – это сложные иерархические системы, функционирующие на разных уровнях биологической организации – от молекулярно-генетического до экосистемного и биоценотического. Ключевым свойством биологических систем является их способность к эволюции, то есть постепенному изменению их свойств в ряду поколений живых организмов. Исследование механизмов, лежащих в основе эволюционных процессов, является одной из важнейших задач современной биологии, для решения которой зачастую привлекается аппарат других наук – физики, математики, информатики.

В докладе представлены методы моделирования функционирования и эволюции комплексных биологических систем, учитывают в рамках одной модели максимально широкий спектр уровней биологической организации (молекулярно-генетический, метаболический, клеточный, популяционный и экологический уровни). Методы реализованы в виде программных комплексов «Гаплоидный Эволюционный Конструктор 3D» (ГЭК 3D) и «Диплоидный Эволюционный Конструктор» (ДЭК), «Population Genetics of Deafness – Simulator» и «Microcosm». Ключевой особенностью предложенных методов является то, что конструируемые модели обладают многослойной архитектурой. При этом каждый слой представляет собой подмодель, ответственную за описание определенного уровня биологической организации: генетического, метаболического, популяционного и, наконец, экологического уровней.

## *Reconstruction of mathematical models of living systems: problems and prospects*

Lashin S.A.
Institute of Cytology and Genetics of SB RAS, Novosibirsk, Russia
lashin@bionet.nsc.ru

Biological systems are complex hierarchical systems functioning at different levels of biological organization, from the molecular-genetic to the ecosystem and biocenosis. A key feature of biological systems is their ability to evolve, that is, to gradually change their properties over generations of living organisms. The study of the mechanisms underlying evolutionary processes is one of the most important tasks of modern biology, which often involves the apparatus of other sciences – physics, mathematics, and computer science.

Here we present methods for modeling the functioning and evolution of complex biological systems, which take into account the widest possible range of levels of biological organization (molecular-genetic, metabolic, cellular, population and ecological levels) within the framework of a single model. The methods are implemented in the form of software packages “Haploid Evolutionary Constructor 3D” (HEC 3D) and “Diploid Evolutionary Constructor” (DEC), “Population Genetics of Deafness – Simulator” and “Microcosm”. The key feature of the proposed methods is that the constructed models have a multilayer architecture, with each layer being a submodel responsible for describing a certain level of biological organization: genetic, metabolic, population and, finally, ecological levels.

## 生命系統數學模型的重構：問題與展望

拉欣公司
Lashin S.A.
ICG SB RAS，新西伯利亞，俄羅斯
lashin@bionet.nsc.ru

生物系統是複雜的等級系統，在不同層次的生物組織中發揮作用——從分子遺傳到生態系統和生物群落。 生物系統的關鍵特性是它們的進化能力，即在一系列生物體的世代中逐漸改變它們的特性。 研究進化過程背後的機制是現代生物學最重要的任務之一，為此經常涉及其他科學的設備——物理學、數學、計算機科學。
該報告介紹了對複雜生物系統的功能和進化進行建模的方法，在一個模型的框架內考慮了生物組織水平的最廣泛範圍（分子遺傳、代謝、細胞、種群和生態水平）。 這些方法以軟件系統“Haploid Evolutionary Constructor 3D”(HEC 3D) 和“Diploid Evolutionary Constructor”(DEC)、“人口遺傳學耳聾-模擬器”和“Microcosm”的形式實施。 所提出方法的關鍵特徵是構建的模型具有多層架構，每一層都是一個子模型，負責描述特定級別的生物組織：遺傳、代謝、種群，最後是生態級別。

DOI 10.18699/sblai2023-24

***Об актуальных задачах моделирования эволюционирующих систем***

Пальянов А.Ю.[1, 2, 3]*, Пальянова Н.В.[2]**
[1] Институт систем информатики им. А.П. Ершова СО РАН, Новосибирск, Россия
[2] НИИ вирусологии ФИЦ фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, Россия
[3] Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия
* palyanov@iis.nsk.su, ** natalia.palyanova@gmail.com

Возможность компьютерного моделирования жизненного цикла и размножения простейшего биологического организма с детализацией до генного уровня стала бы научным прорывом, однако это по-прежнему находится далеко за пределами возможностей современных суперкомпьютеров. Процесс естественного отбора наиболее приспособленных особей происходит с учетом огромного количества факторов как внешней, так и внутренней среды. Особенности организма реализуются через наборы особенностей белков, а влияние изменений каждого белка на приспособленность оценить достаточно трудно в связи с необходимостью учитывать все возникающие изменения взаимодействий этого белка со всеми факторами среды и другими белками, число которых весьма значительно.

В компьютерных моделях эволюционирующих объектов, как правило, внесение изменений в геном потомков осуществляется не явным образом (посредством воспроизведения молекулярных механизмов), а лишь имитируется посредством описания алгоритмов внесения изменений в копию генома предков. Однако и сами механизмы внесения мутаций и горизонтального переноса генов являются субъектами эволюции, и среди возможных изменений, не приводящих к гибели или стерильности особи, встречаются и те, что влияют на скорость и точность репликации генома. Благодаря этому возникает внутривидовая конкуренция, в результате которой, например, для Sars-CoV-2 с момента его появления и до настоящего времени длительность инкубационного периода, напрямую связанная со скоростью репликации вируса, постоянно снижается [1].

По сравнению с клеточными формами жизни вирусы представляются значительно более удобными объектами для изучения и компьютерного моделирования эволюции благодаря достаточно простому устройству и значительно меньшему геному при широком спектре взаимодействий с внешней средой и организмом хозяина. До появления технологий быстрого секвенирования геномов эволюцию вирусов можно было рассматривать лишь в рамках моделей «паразит – хозяин», описывающих статистические, но не молекулярные особенности их взаимодействия. С начала пандемии Sars-CoV-2 мировым научным сообществом было получено более 15 млн вариантов геномов данного коронавируса,

охватывающих весь временной интервал с момента его появления, предоставляющих беспрецедентно обширные данные о его эволюции с учетом географии и времени появления.

Из этих данных может быть рассчитана динамика распространения и изменения вируса не только в физическом пространстве и времени, но и в многомерном пространстве возможных жизнеспособных вариантов вирусных геномов с метрикой, определяемой минимальным числом единичных изменений (мутация, делеция или вставка), необходимых для преобразования одного генома в другую. При этом вирус изменяется, в том числе в ответ на вакцинацию и формирование иммунитета у переболевших. Также может быть оценен эволюционный потенциал каждого участка генома, рассчитана 3D структура вирусных белков, рассчитано взаимодействие S-белков с разными вариантами рецепторов ACE2 и многое другое. В итоге это позволит построить новую, существенно более реалистичную модель эволюции вируса, способную рассчитывать потенциально возможные, но еще не реализованные в природе варианты новых геномов, чтобы заблаговременно противостоять их появлению.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-64-00005).

***Литература***

1. Malone B., Urakova N., Snijder E.J., Campbell E.A. Structures and functions of coronavirus replication-transcription complexes and their relevance for SARS-CoV-2 drug design. Nature Review. Molecular Cell Biology. 2022, 23(1): 21-39.

## *On actual problems of evolving systems modeling*

Palyanov A.Yu.[1, 2, 3]*, Palyanova N.V.[2]**

[1] A.P. Ershov Institute of Informatics Systems of SB RAS, Novosibirsk, Russia

[2] Research Institute of Virology, FCR of Fundamental and Translational Medicine, Novosibirsk, Russia

[3] Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

* palyanov@iis.nsk.su, ** natalia.palyanova@gmail.com

The possibility of computer simulation of the life cycle and reproduction of the simplest biological organism with detailing down to the gene level would be a scientific breakthrough, but this is still far beyond the capabilities of modern supercomputers. The process of natural selection of the fittest individuals takes into account a huge number of both external and internal environment factors. Individual characteristics of an organism are realized as combination of protein features, and the effect of changes in each protein on fitness is difficult to measure due to the need to take into account all the emerging changes in the interactions of this protein with all environmental factors and other proteins, the number of which is tremendous.

Usually in computational models of evolving objects changes in the genome of descendants are not carried out explicitly (by reproducing molecular mechanisms), but only imitated by describing algorithms for making changes to a copy of the ancestral genome(s). However, the mechanisms of introducing mutations and horizontal gene transfer are subjects of evolution as well, and among the possible changes that do not lead to the death or sterility of an individual, there are also those that affect the speed and accuracy of genome replication. Due to this, intraspecific competition arises, and, for example, for Sars-CoV-2 it results in constant decreasing of the rate of virus replication (which is directly related to the duration of the incubation period) from the moment of its appearance to the present time [1].

Compared to whole organisms and unicellular, viruses seem to be much more convenient objects for investigation and computational modeling of evolution due to a fairly simple internal organization and a small genome, along with a wide range of interactions with the environment and the host organism. Before the advent of rapid genome sequencing technologies, the evolution of viruses could only be considered within the framework of “parasite–host” models that describe statistical, but not molecular, features of their interactions. Since the beginning of the Sars-CoV-2 pandemic, more than 15 million variants of the genomes of this coronavirus have been obtained by

the global scientific community, providing unprecedentedly extensive data on its evolution taking into account geography and time of occurrence.

From these data, the dynamics of the spread and change of the virus can be calculated not only in physical space and time, but also in the multidimensional space of possible viable variants of viral genomes with a metric determined by the minimum number of single changes (mutation, deletion or insertion) required to transform one genome to another. During this process the viral genome accumulates changes, including those which appear in response to vaccination and the formation of immunity in recovered patients. It is potentially possible to evaluate the evolutionary potential of each region of the genome, to predict the 3D structure of viral proteins, to estimate the interaction of S proteins with different variants of ACE2 receptors, and much more. As a result all these will allow to develop a new, much more realistic model of virus evolution, capable of calculating potential variants of new genomes that have not yet been realized in nature, in order to resist them in case of their emergence.

This work was funded by the Russian Science Foundation grant (project No. 23-64-00005).

***References***

1. Malone B., Urakova N., Snijder E.J., Campbell E.A. Structures and functions of coronavirus replication-transcription complexes and their relevance for SARS-CoV-2 drug design. Nature Review. Molecular Cell Biology. 2022, 23(1): 21-39.

## 關於演化系統建模的熱點問題

Palyanov A.Yu.[1, 2, 3]*, Palyanova N.V.[2]**
[1] IIS SB RAS，新西伯利亞，俄羅斯
[2] 俄羅斯新西伯利亞 FRC FTM 病毒學研究所
[3] NSU，新西伯利亞，俄羅斯
* palyanov@iis.nsk.su, ** natalia.palyanova@gmail.com

計算機模擬最簡單的生物有機體的生命週期和繁殖到基因水平的可能性將是一個科學突破，但這仍然遠遠超出現代超級計算機的能力。 最適者的自然選擇過程考慮了大量因素，包括外部和內部環境。 生物體的特徵是通過一組蛋白質特徵來實現的，由於需要考慮這種蛋白質與所有環境因素相互作用的所有新變化，因此很難評估每種蛋白質的變化對健康的影響其他蛋白質，其中的數量非常重要。

在進化對象的計算機模型中，通常不會明確地（通過複製分子機制）進行後代基因組的變化，而只是通過描述對祖先基因組副本進行更改的算法來模仿。 然而，引入突變和水平基因轉移的機製本身就是進化的主題，在不會導致個體死亡或不育的可能變化中，也有一些會影響基因組複製的速度和準確性。 因此，出現了種內競爭，其結果是，例如，對於 Sars-CoV-2，從它出現的那一刻到現在，潛伏期的持續時間與病毒的傳播速度直接相關複製，正在不斷減少[1]。

與細胞生命形式相比，病毒似乎是更方便的研究對象和進化的計算機建模，因為它具有相當簡單的設備和更小的基因組，並且與環境和宿主生物體有廣泛的相互作用。 在快速基因組測序技術出現之前，只能在“寄生蟲-宿主”模型的框架內考慮病毒的進化，該模型描述了它們相互作用的統計而非分子特徵。 自 Sars-CoV-2 大流行開始以來，全球科學界已收到超過 1500 萬個這種冠狀病毒基因組的變體，涵蓋了自其出現以來的整個時間間隔，提供了關於其進化的空前廣泛的數據，考慮到出現的地理和時間。

從這些數據中，不僅可以在物理空間和時間上計算病毒傳播和變化的動態，還可以在病毒基因組可能的可行變體的多維空間中計算，其度量由單個變化的最小數量決定（突變、缺失或插入）將一個基因組轉化為另一個基因組。 在這種情況下，病毒會發生變化，包括對疫苗接種的反應和患病者免疫力的形成。 還可以評估基因組每個區域的進化潛力，計算病毒蛋白的 3D 結構，S 蛋白與不同 ACE2 受體變體的相互作用，等等。 因此，這將有可

能建立一個新的、更現實的病毒進化模型，能夠計算尚未在自然界中實現的新基因組的潛在變異，以提前防止它們的出現。

該研究得到了俄羅斯科學基金會的資助（項目編號 23-64-00005）。

文學

1. Malone B., Urakova N., Snijder E.J., Campbell E.A. Structures and functions of coronavirus replication-transcription complexes and their relevance for SARS-CoV-2 drug design. Nature Review. Molecular Cell Biology. 2022, 23(1): 21-39.

DOI 10.18699/sblai2023-31

## *Осмысление методологии объектно-ориентированного программирования в контексте парадигмы сильного искусственного интеллекта*

Скиба И.Р.
Институт философии НАН Беларуси, Минск, Беларусь
gonzodzen@mail.ru

В процессе проведенного нами исследования были получены следующие результаты.

Основы ООП выглядят естественными и непротиворечивыми с точки зрения целесообразности построения программных сущностей, по крайней мере со стороны «антропного подхода» к разработке систем сильного искусственного интеллекта. Однако на данный момент при помощи ООП, как доминирующей методологии и в сфере формирования искусственного интеллекта и вообще – в области разработки программного обеспечения, не было создано «экземпляров» сильного искусственного интеллекта. И нами предполагается, что причина может заключаться в следующем.

Инкапсулированный человеческий мозг в черепе с передним интерфейсом вряд ли предполагался именно и только таковым: скорее всего, вариантов было, а может быть и есть, на несколько сотен порядков более. Однако общий принцип целесообразности в рамках данного нам контекста макромира иным предполагаться не мог вовсе. Так же, как и «жизнеспособность» самой инкапсуляции. А затем уже, в рамках целесообразности и сугубо естественным путем – путем самоорганизации, и был сформирован именно такой «порядок вещей»: интерфейс спереди и именно такой-то, а мозг именно такой и внутри черепа с такими-то характеристиками и т.д.

То есть при формировании определенных закономерностей для какой-либо системы необходимо делать их в общем смысле целесообразными для этой системы (как Вселенские константы), но столь же необходимо создавать условия для запуска «естественного» самоорганизующегося процесса, в рамках которого и будут определены все возможные варианты развития системы и детали этого развития. С учетом научно-технических реалий мы, в данный момент, говорим о формировании самоорганизующегося алгоритма, порождающего «под-алгоритмы» при каждой ранее не встречавшейся задаче, связывающего затем их в единый опыт (некоторое подобие синтеза «Абстрактной фабрики» («Abstract factory» [1,113]) и «Шаблонного метода» («Template method» [1,373]) из паттернов «Банды четырёх» («Gang of four») с некоторыми существенными расширениями). То есть буквально мы имеем ввиду следующее: не прописывать детально все поля и их значения, как и методы для работы с этими полями, а изначально формировать лишь «абстракцию целесообразности» и определенный набор возможностей – по сути «законы физики» локального киберпространства. Если говорить в более общем смысле, то перспективным, с точки зрения формирования систем сильного искусственного интеллекта при помощи методологии ООП, выглядит некое утрирование пятого принципа SOLID – «принципа инверсии зависимостей» (DIP [2,284]) из состояния «всё должно зависеть только от абстракций» до «должны наличествовать только абстракции», в числе которых

целесообразность и возможность самоорганизации.

***Рекомендации***

1. Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Дж. Паттерны объектно-ориентированного проектирования. – СПб.: Питер, 2020. – 448 с.: ил. – (Серия «Библиотека программиста»)

2. Тепляков С. Паттерны проектирования на платформе .NET. – СПб.: Питер, 2015. – 320 с.

## *Understanding the methodology of object-oriented programming in the context of the paradigm of strong artificial intelligence*

Skiba I.R.
Institute of Philosophy of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
gonzodzen@mail.ru

In the process of our research, the following results were obtained.

The fundamentals of OOP look natural and consistent from the point of view of the expediency of building software entities, at least from the "anthropic approach" to the development of strong artificial intelligence systems. However, at the moment, with the help of OOP, as the dominant methodology both in the field of the formation of artificial intelligence and in general in the field of software development, no "instances" of strong artificial intelligence have been created. And we assume that the reason may be as follows.

An encapsulated human brain in a skull with a front interface was hardly supposed to be just that and only that: most likely there were (and maybe there are) several hundred orders of magnitude more. However, the general principle of expediency within the context of the macrocosm given to us could not be assumed otherwise at all. As well as the "viability" of the encapsulation itself. And then, within the framework of expediency and in a purely natural way - through self-organization, exactly such a “order of things” was formed: the interface is in front and exactly such and such, and the brain is just such and inside the skull with such and such characteristics, etc.

That is, when forming certain regularities for any system, it is necessary to make them generally expedient for this system (like the Universal constants), but it is equally necessary to create conditions for launching a “natural” self-organizing process, within which all possible options for the development of the system and the details of this development. Taking into account the scientific and technical realities, we are currently talking about the formation of a self-organizing algorithm that generates “sub-algorithms” for each previously unseen task, then linking them into a single experience (some kind of synthesis of the “Abstract factory” [1,113]) and the "Template method" [1,373] from the Gang of four patterns with some significant extensions). That is, literally, we mean the following: not to prescribe in detail all the fields and their values, as well as methods for working with these fields, but initially form only an “abstraction of expediency” and a certain set of possibilities - in fact, the “laws of physics” of local cyberspace. In a more general sense, promising, from the point of view of the formation of strong artificial intelligence systems using the OOP methodology, looks like some exaggeration of the fifth SOLID principle - the “dependency inversion principle” (DIP [2,284]) from the state “everything should depend only on abstractions” to “there should be only abstractions”, including expediency and the possibility of self-organization.

***Recommendations***

1. Gamma. E., Helm. R., Johnson. R., Vlissides. J. Patterns of object-oriented design. - St. Petersburg: Peter, 2020. - 448 p.: ill. – (Series "Programmer's Library")

2. Teplyakov S. Design patterns on the .NET platform. - St. Petersburg: Peter, 2015. - 320 p.

## 理解面向對象編程的方法論
## 在強人工智能範式背景下

斯基巴

Skiba I.R.
白俄羅斯國家科學院哲學研究所，明斯克，白俄羅斯
gonzodzen@mail.ru

在我們的研究過程中，得到了以下結果。

從構建軟件實體的權宜之計的角度來看，OOP 的基本原理看起來自然且一致，至少從“人擇方法”到強大的人工智能係統的開發。 然而，目前，在 OOP 的幫助下，作為人工智能形成領域和一般軟件開發領域的主導方法，還沒有創建強人工智能的“實例”。 我們假設原因可能如下。

封裝在頭骨中並帶有前接口的人腦不應該僅此而已：很可能還有（也許有）幾百個數量級。 然而，在給予我們的宏觀世界的背景下，權宜之計的一般原則根本不能以其他方式假設。 以及封裝本身的“生存能力”。 然後，在權宜之計的框架內，以一種純粹自然的方式——通過自組織，形成了這樣一種“事物秩序”：界面在前面，就是這樣，大腦就是這樣，在裡面具有這樣那樣特徵的頭骨等

也就是說，當為任何系統形成某些模式時，有必要使它們對這個系統普遍有利（如通用常數），但同樣有必要為啟動“自然”自組織過程創造條件，在該過程中將確定所有可能的選項。系統的開發和開發的細節。 考慮到科學和技術現實，我們目前正在談論形成一種自組織算法，它為每個以前看不見的任務生成“子算法”，然後將它們鏈接成一個單一的體驗（“某種綜合”抽象工廠”[1,113]）和“模板方法”[1,373] 來自四種模式的 Gang，有一些重要的擴展）。 也就是說，從字面上看，我們的意思是：不詳細規定所有字段及其值，以及使用這些字段的方法，但最初僅形成“權宜之計”和一組特定的可能性 - 在事實上，本地網絡空間的“物理定律”。 從更一般的意義上說，從使用 OOP 方法論形成強大的人工智能係統的角度來看，有希望的看起來像是對第五條 SOLID 原則的一些誇張 - 來自“依賴倒置原則”（DIP [2,284]）從“一切都應該只依賴於抽象”到“應該只有抽象”，包括權宜之計和自組織的可能性。

建議

1. Gamma. E., Helm. R., Johnson. R., Vlissides. J. Patterns of object-oriented design. - St. Petersburg: Peter, 2020. - 448 p.: ill. – (Series "Programmer's Library")
2. Teplyakov S. Design patterns on the .NET platform. - St. Petersburg: Peter, 2015. - 320 p.

DOI 10.18699/sblai2023-25

## *Компьютерная реконструкция генных сетей заболеваний: образование и онлайн-инструменты биоинформатики*

Туркина В.А., Савина Е.А., Вишнякова Е.В., Орлова Н.Г., Орлов Ю.Л.*
Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский университет), Москва, Россия
Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия
* orlov@d-health.institute

Современное образование в биологии и медицине требует использования студентами открытых компьютерных средств для моделирования (онлайн-инструментов). Использование онлайн-инструментов биоинформатики позволяет реконструировать белок-белковые и генные сети, отрабатывать навыки системно-биологического моделирования для студентов. При этом вместе с биологическими и медицинскими данными необходимо знание

математики, компьютерных методов. Мы рассматривали вопросы компьютерной реконструкции генных сетей – комплексов взаимодействующих макромолекул – по списку генов, ассоциированных с тем или иным заболеванием или комплексным расстройством на основе общедоступных онлайн-инструментов биоинформатики – STRING-DB, GeneMANIA, приложений Metascape, Cytoscape. Опубликованы примеры компьютерного построения и визуализации генных сетей онкологических заболеваний – глиомы, рака молочной железы, а также сложных ментальных расстройств, таких как болезнь Паркинсона, шизофрения, в российских и международных журналах [1, 2].

Использование только онлайн-инструментов биоинформатики имеет учебный характер, ориентировано на студентов как математического профиля, так и естественно-научных и медицинских дисциплин, у которых недостаточно навыков в информатике, программировании, написании собственного кода. Автоматическое построение списков генов, ассоциированных с заболеванием, с использованием открытых баз данных (OMIM, GeneCards.org, MalaCard.org), компьютерная реконструкция генных сетей, расчеты статистики обогащенности категорий генных онтологий использовались в методике преподавания биоинформатики и информационных технологий, представлены в серии дипломных работ и научных публикаций. Рассмотрены проблемы освоения студентами учебных материалов на основе преподавания в НГУ, ДВФУ, РУДН, Финансовом университете при Правительстве РФ, Сеченовском университете.

Задачи цифровизации медицины, освоения ИТ-технологий являются приоритетными в России. Существовавшая последние годы эпидемическая ситуация и вынужденный переход на дистанционное обучение ускорили принятие мер по изменению форматов образования, появлению новых учебных платформ. Отдельный интерес представляет компьютеризация и автоматизация преподавания собственно дисциплин, связанных с информатикой, в том числе в медицине – в областях телемедицины, электронного здравоохранения. Отметим ряд качественно новых задач образования в области цифрового здравоохранения, таких как использование блокчейн-технологий, использование методов искусственного интеллекта (ИИ) в поддержке принятия врачебных решений [3].

***Литература***

1. Дохоян А.Ю., Глущенко М.В., Орлов Ю.Л. Реконструкция генной сети шизофрении для поиска генов-мишеней. Ульяновский медико-биологический журнал, 2022, Т. 3, С. 6–22.

2. Gubanova N.V., Orlova N.G., Dergilev A.I., et al. Glioblastoma gene network reconstruction and ontology analysis by online bioinformatics tools, Journal of Integrative Bioinformatics, 2021, vol.18, P. 20210031.

3. Koshechkin K.A., Lebedev G.S., Fartushnyi E.N., Orlov Y.L., Holistic Approach for Artificial Intelligence Implementation in Pharmaceutical Products Lifecycle: A Meta-Analysis. Applied Sciences, 2022, vol.12, no.16, P.8373.

## *Computer reconstruction of disease gene networks: bioinformatics education and online tools*

Turkina V.A., Savina E.A., Vishnyakova E.V., Orlova N.G., Orlov Yu.L.*
I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health
of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russia
Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia
* orlov@d-health.institute

Modern education in biology and medicine challenges students to use free online computer modeling tools. The usage of online bioinformatics tools allows reconstruct protein-protein and gene networks, to practice the skills of system-biological modeling for students. At the same time, knowledge of mathematics, computer methods, along with biological and medical data is necessary. We considered the issues of computer reconstruction of gene networks – complexes of interacting macromolecules – according to the list of genes associated with a particular disease or complex disorder based on publicly available online bioinformatics tools – STRING-DB.org, GeneMANIA.org, Metascape.org, Cytoscape.org applications. Examples of computer construction

and visualization of gene networks of oncological diseases – glioma, breast cancer, as well as complex mental disorders such as Parkinson's disease, schizophrenia, have been published in Russian and international journals [1, 2].

The use of only online bioinformatics tools is educational in nature, it is aimed at students of both mathematical profile and natural science and medical disciplines who do not have enough skills in computer science, programming, writing their own code. Automatic generation of disease-associated gene lists using open databases (OMIM, GeneCards.org, MalaCard.org), computer reconstruction of gene networks, calculations of statistics on the enrichment of categories of gene ontologies were used in the methodology of teaching bioinformatics and information technology, presented in a series of theses and scientific publications. The problems of mastering educational materials by students on the basis of teaching at NSU, FEFU, RUDN, Financial University under the Government of the Russian Federation, Sechenov University are considered.

The tasks of digitalization of medicine and the development of IT technologies are priorities in Russia. The epidemic situation that has existed in recent years and the forced transition to distance learning has accelerated the adoption of measures to change the formats of education, the emergence of new educational platforms. Of particular interest is the computerization and automation of teaching disciplines related to computer science, including in medicine – in the fields of telemedicine, e-health. We note a number of qualitatively new tasks of education in the field of digital healthcare, such as the use of blockchain technologies, the use of Artificial Intelligence (AI) methods in supporting medical decision-making [3].

***References***

1. Dokhoyan A.Yu., Glushchenko M.V., Orlov Yu.L. Reconstruction of the schizophrenia gene network to search for target genes. Ulyanovsk biomedical journal. 2022; 3:6–22. (in Russian)

2. Gubanova N.V., Orlova N.G., Dergilev A.I., et al. Glioblastoma gene network reconstruction and ontology analysis by online bioinformatics tools, Journal of Integrative Bioinformatics, 2021, vol.18, P. 20210031.

3. Koshechkin K.A., Lebedev G.S., Fartushnyi E.N., Orlov Y.L., Holistic Approach for Artificial Intelligence Implementation in Pharmaceutical Products Lifecycle: A Meta-Analysis. Applied Sciences, 2022, vol.12, no.16, P.8373.

## 疾病基因網絡的計算機重建：教育和在線生物信息學工具

Turkina V.A., Savina E.A., Vishnyakova E.V., Orlova N.G., Orlov Yu.L.*

I.M. 俄羅斯聯邦衛生部謝切諾夫第一莫斯科國立醫科大學（謝切諾夫大學），莫斯科，俄羅斯

俄羅斯聯邦政府金融大學，莫斯科，俄羅斯

* orlov@d-health.institute

現代生物學和醫學教育要求學生使用開放的計算機建模工具（在線工具）。 使用在線生物信息學工具可以重建蛋白質-蛋白質和基因網絡，培養學生系統生物建模的技能。 這需要數學知識、計算機方法以及生物和醫學數據。 我們根據與特定疾病相關的基因列表，或基於公共在線生物信息學工具（STRING-DB、GeneMANIA、Metascape、Cytoscape 應用程序）的複雜疾病，考慮了基因網絡的計算機重建問題 - 相互作用的大分子復合物。 計算機構建和腫瘤疾病基因網絡可視化的例子——神經膠質瘤、乳腺癌，以及復雜的精神障礙，如帕金森病、精神分裂症——已經在俄羅斯和國際期刊上發表 [1, 2]。

僅使用在線生物信息學工具在本質上是教育性的，主要針對數學、自然科學和醫學學科的學生，他們在計算機科學、編程和編寫自己的代碼方面沒有足夠的技能。 使用開放數據庫（OMIM、GeneCards.org、MalaCard.org）自動構建與疾病相關的基因列表、基因網絡的計算機重建、基因本體類別的富集統計計算被用於生物信息學和信息技術教學方法中，發表在一系列論文和科學出版物中。 考慮了學生在 NSU、FEFU、PFUR、俄羅斯聯邦政府金融大學、謝切諾夫大學教學的基礎上掌握教材的問題。

醫學數字化的任務，信息技術的發展是俄羅斯的優先事項。 近年來存在的流行病和向

遠程學習的強製過渡加速了改變教育形式的措施的採用，新的學習平台的出現。 特別令人感興趣的是與信息學相關的學科本身的計算機化和自動化教學，包括醫學 – 在遠程醫療、電子健康領域。 讓我們注意到數字醫療領域的一些定性的新教育任務，例如使用區塊鏈技術、使用人工智能（AI）方法來支持醫療決策［3］。

文學

1. Dokhoyan A.Yu., Glushchenko M.V., Orlov Yu.L. Reconstruction of the schizophrenia gene network to search for target genes. Ulyanovsk biomedical journal. 2022; 3:6–22. (in Russian)

2. Gubanova N.V., Orlova N.G., Dergilev A.I., et al. Glioblastoma gene network reconstruction and ontology analysis by online bioinformatics tools, Journal of Integrative Bioinformatics, 2021, vol.18, P. 20210031.

3. Koshechkin K.A., Lebedev G.S., Fartushnyi E.N., Orlov Y.L., Holistic Approach for Artificial Intelligence Implementation in Pharmaceutical Products Lifecycle: A Meta-Analysis. Applied Sciences, 2022, vol.12, no.16, P.8373.

**DOI 10.18699/sblai2023-26**

***Использование нейронной сети AlphaFold2 для улучшения результатов белок-белкового докинга***

Филиппов С.С.*, Казеннов А.М.
Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия
* stanislav.filippov@phystech.edu

Белок-белковые взаимодействия являются основой многих биологических процессов. Большинство таких взаимодействий определяются трехмерной структурой и динамикой объектов. При этом взаимодействия между белками могут быть как постоянными, так и временными.

Для определения того, как происходят белок-белковые взаимодействия, используются алгоритмы молекулярного докинга. Однако во многих алгоритмах используется rigid-body подход, который заключается в том, что белки рассматриваются как твердые тела. В этом случае происходит полный перебор всех возможных конфигураций вращений и трансляций объектов друг относительно друга. Недостатком такого алгоритма является то, что он не учитывает структурные изменения, которые могут происходить в комплексе после взаимодействий между белками.

В то же время алгоритмы, в которых белки рассматриваются как подвижные тела, имеют существенно большую вычислительную сложность, что ограничивает их применение на больших массивах данных.

Компромиссом является применение полугибких методов докинга, которые лишены перечисленных недостатков.

В работе описано использование идеи коэволюции, которая применяется в нейронной сети AlphaFold2 для прогнозирования взаимодействия в двухкомпонентных сигнальных белках. Для этого был взят алгоритм описанный в публикации [1], и совмещен с модифицированной моделью AlphaFold2, в которой было уменьшено число гиперпараметров.

Для тестирования итогового алгоритма использовался общедоступный набор данных из бенчмарка Dockground 4 [2]. В нем содержатся 219 пар белков, каждая цепочка которых содержит минимум 50 аминокислотных остатков. Среди рассмотренных комплексов 54 % относятся к эукариотическим белкам, 38 % – к бактериальным и 8 % – это комплексы из пар, в которых один бактериальный белок взаимодействует с эукариотическим.

Полученные результаты показывают, что использование идеи коэволюции в молекулярном докинге позволяет существенно улучшить результаты вычислений и реализовать полугибкий докинг.

***Литература***

1. Kozakov D. et al. PIPER: an FFT-based protein docking program with pairwise potentials //Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics. – 2006. – V. 65. – No. 2. – P. 392-406.
2. Kundrotas P. J. et al. Dockground: a comprehensive data resource for modeling of protein complexes //Protein Science. – 2018. – V. 27. – No. 1. – P. 172-181.

***Using the AlphaFold2 neural network to improve the results of protein-protein docking***

Filippov S.*, Kazennov A.
Moscow Institute of Physics and Technology (National Research Institute), Moscow, Russia
* stanislav.filippov@phystech.edu

Protein-protein interactions are the basis of many biological processes. Most such interactions are determined by the three-dimensional structure and dynamics of the objects. Moreover, interactions between proteins can be either permanent or temporary.

Molecular docking algorithms are used to determine how protein-protein interactions occur. However, many algorithms use a rigid-body approach, which involves treating proteins as rigid bodies. In this case, all possible configurations of rotations and translations of objects relative to each other are fully explored. The disadvantage of such an algorithm is that it does not take into account structural changes that may occur in the complex after interactions between proteins.

At the same time, algorithms in which proteins are treated as flexible bodies have significantly greater computational complexity, which limits their application to large datasets. A compromise is the use of semi-flexible docking methods, which are free from the listed drawbacks.

This work describes the use of the co-evolution idea, which is applied in the AlphaFold2 neural network to predict interaction in two-component signaling proteins. To do this, the algorithm described in the publication [1] was taken and combined with a modified AlphaFold2 model in which the number of hyperparameters was reduced.

The publicly available dataset from the Dockground 4 benchmark [2] was used to test the final algorithm. The subset contains 219 protein pairs, each chain of which contains a minimum of 50 amino acid residues. Among the complexes considered, 54 % are eukaryotic proteins, 38 % are bacterial, and 8 % are complexes of pairs in which one bacterial protein interacts with eukaryotic.

The results show that the use of the co-evolution idea in molecular docking allows for a significant improvement in computational results and the implementation of semi-flexible docking.

***References***

1. Kozakov D. et al. PIPER: an FFT-based protein docking program with pairwise potentials //Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics. – 2006. – V. 65. – No. 2. – P. 392-406.
2. Kundrotas P. J. et al. Dockground: a comprehensive data resource for modeling of protein complexes //Protein Science. – 2018. – V. 27. – No. 1. – P. 172-181.

使用 AlphaFold2 神經網絡改進蛋白質-蛋白質對接的結果

不銹鋼 菲利波夫
Filippov S.*, Kazennov A.
《莫斯科物理技術學院（國立研究型大學）》
* stanislav.filippov@phystech.edu

蛋白質-蛋白質相互作用是許多生物過程的基礎。 大多數這些相互作用是由物體的三

維結構和動力學決定的。 同時，蛋白質之間的相互作用可以是永久的也可以是暫時的。

分子對接算法用於確定蛋白質-蛋白質相互作用如何發生。 然而，許多算法使用剛體方法，將蛋白質視為剛體。 在這種情況下，存在對象相對於彼此的所有可能的旋轉和平移配置的完整枚舉。 該算法的缺點是它沒有考慮蛋白質之間相互作用後復合物中可能發生的結構變化。

同時，將蛋白質視為運動體的算法具有明顯更高的計算複雜度，這限制了它們在大型數據集上的使用。

妥協是使用半柔性對接方法，沒有列出的缺點。

該論文描述了協同進化思想的使用，該思想在 AlphaFold2 神經網絡中用於預測雙組分信號蛋白中的相互作用。

為此，採用了出版物 [1] 中描述的算法並將其與修改後的 AlphaFold2 模型相結合，其中減少了超參數的數量。

為了測試最終算法，使用了來自 Dockground 4 基準 [2] 的公開數據集。 它含有 219 對蛋白質，每條蛋白質鏈至少含有 50 個氨基酸殘基。 在所考慮的複合物中，54% 屬於真核蛋白，38% 屬於細菌蛋白，8% 是一種細菌蛋白與一種真核蛋白相互作用的成對複合物。

得到的結果表明，在分子對接中使用協同進化的思想，可以顯著提高計算結果，實現半柔性對接。

文學

1. Kozakov D. et al. PIPER: an FFT-based protein docking program with pairwise potentials //Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics. – 2006. – V. 65. – No. 2. – P. 392-406.

2. Kundrotas P. J. et al. Dockground: a comprehensive data resource for modeling of protein complexes //Protein Science. – 2018. – V. 27. – No. 1. – P. 172-181.

DOI 10.18699/sblai2023-27

## *Systems Theory, Algebraic Biology, Artificial Intelligence: Mathematical foundations and applications*

Chen Ming
Zhejiang University, Hangzhou, China
mchen@zju.edu.cn

It remains challenge in bioinformatics to uncover underlying relationships between biological entities such as protein-protein interaction (PPI) or diseases similarity prediction tasks. Traditional methods use handcraft features to calculate the distance or similarity between different entities, which can be largely biased and may failed to capture the non-linear dependency.

However, the emergence of deep learning frameworks has allowed for the development of sophisticated models to predict complex biological relationships. We develope DeepTrio, a sequence-based model using mask multiple parallel convolutional neural network, for the task of PPI prediction. DeepTrio is significantly better than other state-of-the-art (SOTA) methods in terms of various metrics and can be extended to provide additional insights into the contribution of each input neuron to the prediction results. On the issue of disease similarity prediction, we present CoGO, a contrastive learning framework based on gene network and ontology structure, which incorporates the gene interaction network and gene ontology (GO) domain knowledge using graph deep learning models. We propose an inter-view graph neural network to encode the network structure information and a cross-view contrastive loss to mix up the representations learned from the gene network and GO

graph. CoGO outperforms the SOTA on different evaluation metrics and extracts credible similar diseases which are significantly comparable with other disease similarity studies.

The above deep learning frameworks demonstrate the potential of deep learning in accurately predicting complex biological processes and provide insight into the development of future models. The use of deep learning frameworks has the potential to greatly advance our understanding of protein-protein interactions and disease relationships.

***References***

1. Hu Xiaotian et al. DeepTrio: a ternary prediction system for protein–protein interaction using mask multiple parallel convolutional neural networks. *Bioinformatics* 38.3 (2022): 694-702.

2. Chen Yuhao et al. CoGO: a contrastive learning framework to predict disease similarity based on gene network and ontology structure. *Bioinformatics* 38.18 (2022): 4380-4386.

系統論、代數生物學、人工智能：數學基礎與應用

陳明
Chen Ming
浙江大學，杭州，中國
mchen@zju.edu.cn

揭示生物實體之間的潛在關係（例如蛋白質-蛋白質相互作用（PPI）或疾病相似性預測任務）在生物信息學中仍然是一項挑戰。 傳統方法使用手工特徵來計算不同實體之間的距離或相似度，這可能存在很大偏差，並且可能無法捕獲非線性依賴性。

然而，深度學習框架的出現允許開發複雜的模型來預測複雜的生物關係。 我們開發了 DeepTrio，一種使用掩碼多並行卷積神經網絡的基於序列的模型，用於 PPI 預測任務。 DeepTrio 在各種指標方面明顯優於其他最先進（SOTA）方法，並且可以擴展以提供有關每個輸入神經元對預測結果的貢獻的更多見解。 在疾病相似性預測問題上，我們提出了 CoGO，一種基於基因網絡和本體結構的對比學習框架，它使用圖深度學習模型結合了基因相互作用網絡和基因本體（GO）領域知識。 我們提出了一個視圖間圖神經網絡來編碼網絡結構信息和一個交叉視圖對比損失來混合從基因網絡和 GO 圖學習的表示。 CoGO 在不同的評估指標上優於 SOTA，並提取可信的相似疾病，這些疾病與其他疾病相似性研究具有顯著可比性。

上述深度學習框架展示了深度學習在準確預測複雜生物過程方面的潛力，並為未來模型的發展提供了洞察力。 深度學習框架的使用有可能極大地促進我們對蛋白質-蛋白質相互作用和疾病關係的理解。

文學

1. Hu Xiaotian et al. DeepTrio: a ternary prediction system for protein–protein interaction using mask multiple parallel convolutional neural networks. *Bioinformatics* 38.3 (2022): 694-702.

2. Chen Yuhao et al. CoGO: a contrastive learning framework to predict disease similarity based on gene network and ontology structure. *Bioinformatics* 38.18 (2022): 4380-4386.

DOI 10.18699/sblai2023-28

## *PneumoScreener: AI based tool for automatic detection of anomalies from Chest XR and CT images*

Djapic V.
The Institute for Artificial Intelligence Research and Development of Serbia, Belgrade, Serbia
vladimir.djapic@ivi.ac.rs

In many hospital systems, Chest imaging is required for all patients when being admitted to

the hospital. During pandemic Chest imaging was essential diagnostics tool of COVID-19 disease and in the decision making on hospitalisation and the treatment options, at various stages of the disease. Fast and accurate diagnostics of the COVID-19 is possible with chest X-ray (CXR) and computed tomography (CT) scan images. Our project, PneumoScreener, used AI, in particular deep learning approaches, to build an automated system that can be used in processing CXR and CT scans for early, or advanced signs of the COVID-19 pneumonia, or any other related pathology. We selected ResNet50 [1], EfficientNet B0 [2], EfficientNetv2 B02 [2], VGG162 [2] and our custom model. The chest X ray and CT scans from Serbian national data base (regular and COVID hospitals), combined with the datasets readily available from open access online databases were used for training, validation, and testing. We designed and implemented function PneumoScreenerPreprocessor, using C++ and OpenCV (with python used for automation and CMake for generating building files), for data pre-processing which were further used for the training of the neural networks. Software functionalities included data normalization, data augmentation (rotation, shift, flip), resizing and accuracy check. In addition, created software library PneumoScreener with routines for loading AI models, extracting features and performing predictions (inference) on datasets. Using this library, we have developed command-line interface (CLI) scripts: ModelSelection, FeatureExtractor and ImageClassifier for testing of algorithms for model selection, feature extraction and image classification. At the end, we selected deep learning model which we further optimized and used for extracting features and image classification. We defined and implemented several new AI algorithms for detecting: (1) if lungs are healthy or pneumonia is present, and (2) in case of pneumonia which type of pneumonia is present. In case of CXR (as input), model can detect four types of pneumonia: COVID, non-COVID-viral, Tuberculosis and non-Tuberculosis, other bacterial pneumonia. In case of CT slices, only COVID, non-COVID and Normal classes are available. In addition to detecting COVID-19 caused pneumonia and differentiating it from other viral and bacterial pneumonia types, the goal of our project was to determine the severity pneumonia. For the purposes of extraction of lung regions and lesions from CXR and CT slices, and calculating severity of pneumonia, we defined several algorithms which accept normalized (statistically) CXR / CT slice image, process it and output bitmaps with lungs and lesions masks. These segmentation models are developed as UNet models with EfficientNet and EfficientNetv2 as a backbone (we used B0 for testing). Finally, we designed and implemented several python scripts for automated testing of algorithms and applications, developed in previous phases, performed several iterations of testing. Also, we performed training of developed models on Serbian State Data Center (DGX supercomputer) infrastructure, tested trained models using developed scripts and compared training performances and prediction results with models trained on PC and other models on WWW. At the end, we analyzed the results and drew conclusions. After running test on all open access datasets (in-distribution test), we obtained cumulative accuracy of 97,1987 % and for CT models (in-distribution test) cumulative accuracy of 99,8676 %. These results are better from all models from COVID-Net [3] cited by 2567 other articles, large research initiative and most of models we found on WWW. After running on CXR dataset obtained from a Serbian COVID-19 hospital (out-of-distribution test), we obtained cumulative accuracy of 93,3993 %. We also developed an AI-powered clinical decision support system user interface (not subject of this article) and are working on its integration with a generic picture archiving and communication system (PACS) [4]. Furthermore, the results of our research and our PneumoScreener AI tool can be used as a fast-screening tool during future pandemics.

### *References*

1. Qiblawey Y., Tahir A., Chowdhury M.E.H., Khandakar A., Kiranyaz S., Rahman T., Ibtehaz N., Mahmud S., Maadeed S.A., Musharavati F., Ayari M.A. Detection and Severity Classification of COVID-19 in CT Images Using Deep Learning. Diagnostics (Basel). 2021 May 17;11(5):893. doi: 10.3390/diagnostics11050893. PMID: 34067937; PMCID: PMC8155971

2. Nillmani, Jain P.K., Sharma N., Kalra M.K., Viskovic K., Saba L., Suri J.S. Four Types of Multiclass Frameworks for Pneumonia Classification and Its Validation in X-ray Scans Using Seven Types of Deep Learning Artificial Intelligence Models. Diagnostics 2022, 12, 652. https://doi.org/10.3390/diagnostics12030652

3. Wang, Linda & Lin, Zhong & Wong, Alexander. (2020). COVID-Net: a tailored deep convolutional neural

network design for detection of COVID-19 cases from chest X-ray images. Scientific Reports. 10. 10.1038/s41598-020-76550-z.

4. Strickland N.H. PACS (picture archiving and communication systems): filmless radiology. Arch Dis Child. 2000 Jul;83(1):82-6. doi: 10.1136/adc.83.1.82. PMID: 10869010; PMCID: PMC1718393.

# PneumoScreener：基於 AI 的胸部 XR 和 CT 圖像異常自動檢測工具

Djapic V.
博士
塞爾維亞人工智能研究與發展研究所，貝爾格萊德
vladimir.djapic@ivi.ac.rs

在許多醫院系統中，所有患者入院時都需要進行胸部成像。 在大流行期間，胸部影像學是 COVID-19 疾病的重要診斷工具，也是疾病不同階段住院治療和治療方案決策的重要工具。 使用胸部 X 光 (CXR) 和計算機斷層掃描 (CT) 掃描圖像可以快速準確地診斷 COVID-19。 我們的項目 PneumoScreener 使用 AI，特別是深度學習方法，構建了一個自動化系統，可用於處理 CXR 和 CT 掃描，以發現 COVID-19 肺炎或任何其他相關病理學的早期或晚期跡象。 我們選擇了 ResNet50 [1]、EfficientNet B0 [2]、EfficientNetv2 B02 [2]、VGG162 [2] 和我們的自定義模型。 來自塞爾維亞國家數據庫（正規醫院和 COVID 醫院）的胸部 X 光和 CT 掃描，結合開放訪問在線數據庫中現成的數據集，用於訓練、驗證和測試。 我們設計並實現了函數 PneumoScreenerPreprocessor，使用 C++ 和 OpenCV（使用 python 實現自動化，使用 CMake 生成構建文件）進行數據預處理，進一步用於神經網絡的訓練。 軟件功能包括數據規範化、數據擴充（旋轉、移位、翻轉）、調整大小和準確性檢查。 此外，創建了軟件庫 PneumoScreener，其中包含用於加載 AI 模型、提取特徵和對數據集執行預測（推理）的例程。 使用這個庫，我們開發了命令行界面 (CLI) 腳本：ModelSelection、FeatureExtractor 和 ImageClassifier，用於測試模型選擇、特徵提取和圖像分類的算法。 最後，我們選擇了進一步優化的深度學習模型，用於提取特徵和圖像分類。 我們定義並實施了幾種新的 AI 算法來檢測：1) 肺部是否健康或是否存在肺炎，以及 2) 如果是肺炎，則存在哪種類型的肺炎。 在 CXR（作為輸入）的情況下，模型可以檢測四種類型的肺炎：COVID、非 COVID-viral、結核病和非結核病、其他細菌性肺炎。 在 CT 切片的情況下，只有 COVID、非 COVID 和正常類可用。 除了檢測 COVID-19 引起的肺炎並將其與其他病毒性和細菌性肺炎類型區分開來，我們項目的目標是確定肺炎的嚴重程度。 為了從 CXR 和 CT 切片中提取肺部區域和病變，併計算肺炎的嚴重程度，我們定義了幾種算法，它們接受標準化（統計）CXR/CT 切片圖像，對其進行處理並輸出帶有肺部和病變掩膜的位圖。 這些分割模型被開發為以 EfficientNet 和 EfficientNetv2 作為主幹的 UNet 模型（我們使用 B0 進行測試）。 最後，我們設計並實現了幾個 python 腳本，用於算法和應用程序的自動化測試，這些腳本是在前幾個階段開發的，進行了多次迭代測試。 此外，我們在塞爾維亞國家數據中心（DGX 超級計算機）基礎設施上對開發的模型進行了訓練，使用開發的腳本測試了訓練好的模型，並將訓練性能和預測結果與在 PC 上訓練的模型和 WWW 上的其他模型進行了比較。 最後，我們對結果進行了分析並得出了結論。 在對所有開放訪問數據集（分佈內測試）運行測試後，我們獲得了 97,1987% 的累積精度，CT 模型（分佈內測試）的累積精度為 99,8676%。 這些結果優於 COVID-Net [3] 的所有模型，這些模型被 2567 篇其他文章引用為大型研究計劃和我們在 WWW 上找到的大多數模型。 在從塞爾維亞 COVID-19 醫院（分佈外測試）獲得的 CXR 數據集上運行後，我們獲得了 93,3993% 的累積準確率。 我們還開發了一個 AI 驅動的臨床決策支持系統用戶界面（不是本文的主題），並致力於將其與通用圖片存檔和通信系統 (PACS) 集成 [4]。 此外，我們的研究結果和我們的 PneumoScreener AI 工具可用作未來大流行期間的快速篩查工具。

文學

1. Qiblawey Y., Tahir A., Chowdhury M.E.H., Khandakar A., Kiranyaz S., Rahman T., Ibtehaz N., Mahmud S., Maadeed S.A., Musharavati F., Ayari M.A. Detection and Severity Classification of COVID-19 in CT Images Using Deep Learning. Diagnostics (Basel). 2021 May 17;11(5):893. doi: 10.3390/diagnostics11050893. PMID: 34067937; PMCID: PMC8155971

2. Nillmani, Jain P.K., Sharma N., Kalra M.K., Viskovic K., Saba L., Suri J.S. Four Types of Multiclass Frameworks for Pneumonia Classification and Its Validation in X-ray Scans Using Seven Types of Deep Learning Artificial Intelligence Models. Diagnostics 2022, 12, 652. https://doi.org/10.3390/diagnostics12030652

3. Wang, Linda & Lin, Zhong & Wong, Alexander. (2020). COVID-Net: a tailored deep convolutional neural network design for detection of COVID-19 cases from chest X-ray images. Scientific Reports. 10. 10.1038/s41598-020-76550-z.

4. Strickland N.H. PACS (picture archiving and communication systems): filmless radiology. Arch Dis Child. 2000 Jul;83(1):82-6. doi: 10.1136/adc.83.1.82. PMID: 10869010; PMCID: PMC1718393.

DOI 10.18699/sblai2023-29

## *Time and consciousness in intuitionism*

Milovanović M.
Mathematical Institute SANU, Belgrade, Serbia
milosm@mi.sanu.ac.rs

Brouwer's claims that time is a primordial intuition of consciousness has been considered in terms of the complex systems physics. The time continuum that is based upon a processual definition of real numbers concerns a skeletal category of such intuitionism which should be related to the measurement problem. A multiresolution hierarchy of the measurement process corresponds to the time operator that is a formalism of complex systems which was developed by the Brussels school of thermodynamics. The wavelet domain hidden Markov model that recapitulates statistical properties of the hierarchy has been proven tremendously useful in a variety of applications, including speech recognition and artificial intelligence. The model provides switching between outer and inner psychophysics, due to a change in representation which is the operational function of time. The inner psychophysics, which is a relation between sensation and neural activity, corresponds to the recognition of structural information that has been reflected by the increase of statistical complexity in the temporal domain. The optimal measurement corresponds to the most prominent increase that is an indicator of the system`s self-organization, which presents an evident link between time and consciousness.

### *References*

1. Milovanović M., Vukmirović S., Saulig N. Stochastic analysis of the time continuum, Mathematics, 2021, vol. 9, 1452.

2. Prigogine I. From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Science; W. H. Freeman and Co., New York, 1980.

3. Antoniou I., Misra B., Suchanecki Z. Time Operator: Innovation and Complexity, John Wiley and Sons, New York, 2003.

4. Crouse M.C., Nowak R.D., Baraniuk R.G. Wavelet-based statistical signal processing using hidden Markov model, IEEE Transactions on Signal Processing, 1998, vol. 46, 886–902.

## 直覺主義中的時間和意識

米洛什・米洛瓦諾維奇
Milovanović M.
SANU 數學研究所，貝爾格萊德，塞爾維亞
milosm@mi.sanu.ac.rs

Brouwer 關於時間是意識的原始直覺的主張已從復雜系統物理學的角度考慮。 基於實數過程定義的時間連續體涉及這種直覺主義的骨架範疇，它應該與測量問題有關。 測量過程的多分辨率層次對應於時間算子，它是布魯塞爾熱力學學院開發的複雜系統的形式主義。

概括層次結構統計特性的小波域隱馬爾可夫模型已被證明在各種應用中非常有用，包括語音識別和人工智能。 由於表示的變化是時間的操作功能，該模型提供了外部和內部心理物理學之間的切換。 內在心理物理學是感覺和神經活動之間的關係，對應於結構信息的識別，這種結構信息已反映在時域統計複雜性的增加上。 最佳測量對應於最顯著的增加，這是系統自組織的指標，它代表了時間和意識之間的明顯聯繫。

文學

1. Milovanović M., Vukmirović S., Saulig N. Stochastic analysis of the time continuum, Mathematics, 2021, vol. 9, 1452.

2. Prigogine I. From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Science; W. H. Freeman and Co., New York, 1980.

3. Antoniou I., Misra B., Suchanecki Z. Time Operator: Innovation and Complexity, John Wiley and Sons, New York, 2003.

4. Crouse M.C., Nowak R.D., Baraniuk R.G. Wavelet-based statistical signal processing using hidden Markov model, IEEE Transactions on Signal Processing, 1998, vol. 46, 886–902.

DOI 10.18699/sblai2023-32

## *The Lack of Systems Biology In-between the HLA-C and COVID-19 Severity*

Nersisyan S.[1], Hovhannisyan A.[1,2], Hyussyan A.[3], Hakobyan S.[1], Avagyan S.[3], Jordan F.[3]*, Arakelyan A.A.[1,2], Mayilyan K.R.[1]**

[1] Institute of Molecular Biology, National Academy of Sciences, Yerevan, Armenia

[2] Russian-Armenian University, Yerevan, Armenia

[3] Armenian Bone Marrow Donor Registry Charitable Trust, Yerevan, Armenia

* frieda.jordan@att.net, ** k_mayilyan@mb.sci.am

The association between the COVID-19 severity and the *HLA-C*04:01* allele is the most replicated finding across Human Leukocyte Antigen (HLA) variants and diverse populations including the Armenian. The results have led to several hypotheses on the *HLA-C*04:01* allele contribution to the causative mechanisms. Thus, to unravel the systems biology underlying this genetic association, the present study aimed at identifying the *HLA-C*04:01*-related aberrations in whole blood leukocyte transcriptome, which may blueprint the severe pathophysiology of COVID-19.

Thus, we have performed DESeq2 bioinformatics and Gene Set Enrichment Analysis of RNA-sequencing data of a large publicly available cohort of 100 patients [Gene Expression Omnibus: accession ID GSE157103]. HLA-genotypes were acquired from the imputed data by Warren and Birol [PeerJ 2021]. Using univariate models of blood leukocyte transcriptomes of COVID-19 patients, we assessed differentially expressed genes (DEGs) between several clinical and demographical groups. The highest number of DEGs (over 3000) was found when groups of patients admitted and not admitted to the Intensive Care Units (ICU) have been compared. The biological processes, such as the positive regulation of both NK-mediated cytotoxicity and interferon-gamma production, as well as T cell activation. Relatively high numbers of DEGs were found associated with age and some ethnic groups. Nevertheless, only 15 DEGs were found between males and females. A comparison of HLA-C*04:01 carriers and non-carriers revealed only 3 DEGs, i.e. *ANKS1B*, *PLA2G7*, and *DOCK6* ($P_{FDR}$ <0.05), with the inability to underpin any biological system. Moreover, in a multivariate model with five parameters (i.e. ICU status, *HLA-C*04:01* carriage, age, sex, ethnicity) blood leukocyte transcriptomes did not exhibit pronounced differences between carriers and non-carriers of the *HLA-C*04:01* allele. Besides, we found that the expression profile of HLA genes is associated with COVID-19 severity, age, and ethnicity but not with HLA-C*04:01 carriage and sex. For the last attempt to identify transcriptome changes associated with *HLA-C*04:01* carriage, we used the GTEx portal to find QTLs linked to *HLA-C*04:01*. Remarkably, >12 eQTLs and sQTLs were enriched for processes such as TAP-independent antigen processing and presentation of endogenous peptide antigen via HLA class I,

protection from NK-mediated cytotoxicity, innate immune response to other organisms. However, none of the GTEx *HLA-C*04:01*-linked blood leukocyte eQTLs (i.e. *HCG27*, *NOTCH4*, *TCF19*, *TRIM39*, *MIR6891* and *XXbac-BPG181B23.7*) was differentially expressed between *HLA-C*04:01* carrier and non-carrier patients, indicating that transcriptome aberrations due to the COVID-19 could disrupt QTLs associations reported for human control samples. In line with the lack of evidence related to Systems Biology, we found that due to high HLA-C expression, *HLA-C*04:01* may disrupt HLA-C mediated immune protection harnessing NK cells and causing NK *hyporesponsiveness* through KIR2DL1 inhibitory receptors.

The work was supported by the Science Committee of the Republic of Armenia (grant: E17).

## HLA-C 和 COVID-19 嚴重性之間缺乏系統生物學

Nersisyan S.[1], Hovhannisyan A.[1,2], Hyussyan A.[3], Hakobyan S.[1], Avagyan S.[3], Jordan F.[3]*, Arakelyan A.A.[1,2], Mayilyan K.R.[1]**

[1]美國國家科學院分子生物學研究所，埃里溫，亞美尼亞

[2]俄羅斯-亞美尼亞大學，埃里溫，亞美尼亞

[3]Armenian Bone Marrow Donor Registry Charitable Trust，亞美尼亞埃里溫

* frieda.jordan@att.net, ** k_mayilyan@mb.sci.am

COVID-19 嚴重程度與 HLA-C*04:01 等位基因之間的關聯是人類白細胞抗原 (HLA) 變體和包括亞美尼亞人在內的不同人群中重複最多的發現。 結果導致了關於 HLA-C*04:01 等位基因對致病機制的貢獻的幾個假設。 因此，為了揭示這種遺傳關聯背後的系統生物學，本研究旨在識別全血白細胞轉錄組中與 HLA-C*04:01 相關的畸變，這可能會描繪出 COVID-19 的嚴重病理生理學。

因此，我們對 100 名患者的大型公開可用隊列［Gene Expression Omnibus：登錄號 GSE157103］的 RNA 測序數據進行了 DESeq2 生物信息學和基因集富集分析。 HLA 基因型是從 Warren 和 Birol［PeerJ 2021］的估算數據中獲得的。 我們使用 COVID-19 患者血液白細胞轉錄組的單變量模型，評估了幾個臨床和人口統計學群體之間的差異表達基因 (DEG)。 當比較入住和未入住重症監護病房 (ICU) 的患者組時，發現 DEG 數量最多（超過 3000）。 生物過程，例如 NK 介導的細胞毒性和乾擾素-γ 產生的正調節，以及 T 細胞活化。 發現相對較多的 DEG 與年齡和某些種族相關。 儘管如此，在男性和女性之間只發現了 15 個 DEG。 HLA-C*04:01 攜帶者和非攜帶者的比較顯示只有 3 個 DEG，即 ANKS1B、PLA2G7 和 DOCK6 (PFDR <0.05)，無法支撐任何生物系統。 此外，在具有五個參數（即 ICU 狀態、HLA-C*04:01 攜帶、年齡、性別、種族）的多變量模型中，血液白細胞轉錄組在 HLA-C*04 攜帶者和非攜帶者之間沒有表現出明顯差異 :01 等位基因。 此外，我們發現 HLA 基因的表達譜與 COVID-19 的嚴重程度、年齡和種族有關，但與 HLA-C*04:01 的攜帶和性別無關。 最後一次嘗試識別與 HLA-C*04:01 運輸相關的轉錄組變化，我們使用 GTEx 門戶網站查找鏈接到 HLA-C*04:01 的 QTL。 值得注意的是，超過 12 個 eQTL 和 sQTL 被豐富用於 TAP 獨立抗原加工和通過 I 類 HLA 呈遞內源肽抗原、防止 NK 介導的細胞毒性、對其他生物體的先天免疫反應等過程。 然而，GTEx HLA-C*04:01 連鎖的血液白細胞 eQTL（即 HCG27、NOTCH4、TCF19、TRIM39、MIR6891 和 XXbac-BPG181B23.7）均未在 HLA-C*04:01 攜帶者和非攜帶者之間差異表達 - 攜帶者患者，表明 COVID-19 導致的轉錄組畸變可能會破壞人類對照樣本報告的 QTL 關聯。 由於缺乏與系統生物學相關的證據，我們發現由於 HLA-C 高表達，HLA-C*04:01 可能會破壞 HLA-C 介導的利用 NK 細胞的免疫保

護，並通過 KIR2DL1 抑制受體導致 NK 反應遲鈍。

這項工作得到了亞美尼亞共和國科學委員會的支持（撥款：E17）。

DOI 10.18699/sblai2023-30

***Neural networks and their interactive reconstruction (fMRI - EEG research)***

Shtark M.B.
Federal Research Center of Fundamental and Translational Medicine, Novosibirsk, Russia
mark_shtark@mail.ru

Neuroplasticity is the basis of the adaptive nature of brain activity, and of its ability for flexible, creative work. The numerical (measurable) characteristic of neuroplasticity is the so-called functional connectivity (FC) – the controlled strength of "connectivity" between and within different brain structures. FC is a statistical relationship between distant neurophysiological events. Integration paths in a complex hierarchically built system of the real brain are determined by effective connectivity (EC). EC is a correlation and vector component of the information flow between brain regions. The visualization of this phenomenon in a tomograph is provided by the functional MRI (fMRI) technology based on BOLD (blood oxygenation level dependent) physiological signal. The changes in BOLD intensity reflect the degree of blood oxygen saturation at a particular area of the working brain depending on its current activity. Therefore, it becomes possible to visualize the functions of a real brain. In addition to tracking the BOLD phenomenon in the tomograph it is also possible to measure the electrical component of brain activity through electroencephalography (EEG). The "bimodal" neuroplatform created in this way represents a unique tool that implements the main characteristics of brain activity. BOLD and EEG signals built into the feedback loop create a new class of neurotechnology, that is interactive therapy (stimulation) of certain brain formations. The process of neuroplasticity becomes available for the cognitive reconstruction of neural networks with therapeutic, restorative, and research aims. This report is an attempt to analyze the possibilities of the newly created "trimodal platform" (which is an independent interest) and the results of its work in the study of the human brain of any complexity degree. In our case we are talking about acute cerebrovascular accidents (strokes) and affective disorders of a wide spectrum. The report provides a semantic comparison of the role of neural networks as elements of the software, in terms of artificial intelligence vocabulary, and real visualized "territories" of the brain undergoing natural and introduced interactive reconstruction during creative activity. Aberrations of neural networks, which are the basis of the pathology of mental and nervous activity, are demonstrated on the examples of depressive disorders and symptoms of cerebral infarction (stroke).

***References***

1. Shtark M.B. Neurofeedback: A scarce resource at the mental market, Neurofeedback the first fifty years, 2020, P 353 – 358. ACADEMIC PRESS

2. Melnikov M.Ye. The Current Evidence Levels for Biofeedback and Neurofeedback Interventions in Treating Depression: A Narrative Review, Neural Plasticity, 2021, P 31.

3. Mel'nikov M.Ye., Bezmaternykh D.D et al. Real-time fMRI neurofeedback compared to cognitive behavioral therapy in a pilot study for the treatment of mild and moderate depression, European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience, 2022, https://doi.org/10.1007/s00406-022-01462-0.

4. Khruscheva N.A., Mel'nikov M.Ye. at al. Interactive Brain Stimulation Neurotherapy Based on BOLD Signal in Stroke Rehabilitation, NeuroRegulation, 2022, Vol. 9(3), P 147–163.

神經網絡及其交互重建（fMRI - EEG 研究）

Shtark M.B.
FRC FTM，新西伯利亞，俄羅斯
mark_shtark@mail.ru

神經可塑性是大腦活動的適應性及其靈活、創造性工作能力的基礎。 神經可塑性的數字（可測量）特徵是所謂的功能連接（FC）——不同大腦結構之間和內部“連接”的受控強度。 FC 是遠距離神經生理事件之間的統計關係。 真實大腦的複雜分層構建系統中的集成路徑由有效連接（EC）決定。 EC 是大腦區域之間信息流的相關和矢量分量。 這種現像在斷層掃描儀中的可視化是由基於 BOLD（血氧水平依賴）生理信號的功能性 MRI（fMRI）技術提供的。 BOLD 強度的變化反映了工作大腦特定區域的血氧飽和度，具體取決於其當前活動。 因此，可以可視化真實大腦的功能。 除了在斷層掃描儀中跟踪 BOLD 現像外，還可以通過腦電圖（EEG）測量大腦活動的電成分。 以這種方式創建的“雙峰”神經平台代表了一種實現大腦活動主要特徵的獨特工具。 反饋迴路中內置的 BOLD 和 EEG 信號創造了一類新的神經技術，即某些大腦結構的互動療法（刺激）。 神經可塑性的過程可用於具有治療、恢復和研究目的的神經網絡的認知重建。 本報告試圖分析新創建的“三模態平台”（這是一個獨立的興趣）的可能性及其在任何復雜程度的人腦研究中的工作結果。 在我們的案例中，我們談論的是急性腦血管意外（中風）和廣泛的情感障礙。 該報告提供了神經網絡作為軟件元素的作用的語義比較，在人工智能詞彙方面，以及在創造性活動期間經歷自然和引入交互重建的大腦的真實可視化“區域”。 神經網絡的畸變是精神和神經活動病理學的基礎，在抑鬱症和腦梗塞（中風）症狀的例子中得到了證明。

文學

1. Shtark M.B. Neurofeedback: A scarce resource at the mental market, Neurofeedback the first fifty years, 2020, P. 353–358. ACADEMIC PRESS

2. Melnikov M.Ye. The Current Evidence Levels for Biofeedback and Neurofeedback Interventions in Treating Depression: A Narrative Review, Neural Plasticity, 2021, P. 31.

3. Mel’nikov M.Ye., Bezmaternykh D.D et al. Real-time fMRI neurofeedback compared to cognitive behavioral therapy in a pilot study for the treatment of mild and moderate depression, European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience, 2022, https://doi.org/10.1007/s00406-022-01462-0.

4. Khruscheva N.A., Mel’nikov M.Ye. at al. Interactive Brain Stimulation Neurotherapy Based on BOLD Signal in Stroke Rehabilitation, NeuroRegulation, 2022, Vol. 9(3), P. 147–163.

# Подсекция «Первые шаги в науке»

DOI 10.18699/sblai2023-34

***Применение технологий и инструментов искусственного интеллекта в распознавании и прогнозировании лесных пожаров Российской Федерации***

Кодиров Ш.Ш.[1], Кирпичев В.Э.[2]
[1] Южно-Уральский государственный университет, кафедра «Информационно-измерительная техника», Челябинск, Россия
[2] МБОУ СОШ № 8 имени М.И. Бусыгина, Усть-Илимск, Россия
kodirovss@susu.ru, kirpichev.vladimir@list.ru

Россия по праву считается лесной державой, на неё приходится 1/5 часть всех лесов мира, 1/2 часть всех хвойных лесов, леса занимают ~50% всей площади страны и составляют 1,2 млрд. Га. Защита лесных ресурсов от пожара является важной задачей управления лесным хозяйством. Основная причина гибели лесов – это пожары. На расходы по тушению лесных пожаров выделяются и тратятся огромные средства. По данным министерства природных ресурсов ущерб от лесных пожаров в 2021 составил 10.6 млрд рублей. Следует заметить, что реальный экономический ущерб от лесного пожара складывается не только из урона, нанесенного лесу, промышленным и другим объектам, но и из затрат, связанных непосредственно с тушением. Соответственно для того, чтобы минимизировать выше отмеченные ущербы и затраты, необходимо на ранних стадиях локализовать и ликвидировать пожары. Однако для того чтобы на ранних стадиях предвидеть пожары (например, местоположение, тип пожара, возможное время возникновения), необходимо иметь достоверные прогнозы о рисках их возникновения. Для этого необходимо разработать систему мониторинга и прогнозирования рисков возникновения пожаров с применением передовых технологии обработки данных. Из сказанного выше становится очевидна огромная важность организации надёжной системы мониторинга и прогнозирования рисков возникновения пожаров для своевременного обнаружения и принятия мер по недопущению лесных пожаров, позволяющая минимизировать экономический, экологический (а в некоторых случаях и человеческий) ущерб [1–4].

Раньше проблема лесных возгораний являлась не решимой ни в одной стране мира, поскольку условия возникновения пожара, характер его поведения и возможности его тушения зависят от сочетания множества самых разных факторов, как прямых, так и косвенных. Ныне существующие прогностические модели [3–6] имеют недостаточную точность прогнозирования, а также они построены на синтетических данных, что ограничивает их применять в реальных условиях. Кроме того, в существующих моделях не учитывается временные характеристики возникновения типов пожаров. Следовательно, необходимо разработать алгоритм обработки данных и модель прогнозирования лесных пожаров учитывающий временные и географические особенности территории Российской Федерации.

В представленной работе, предлагается новая методика разработки алгоритма обработки данных и модели прогнозирования лесных пожаров по времени и по локации их возникновения для территории Российской Федерации. В данной работе, применились самые передовые методы обработки данных, а также алгоритмы машинного обучения.

Основные результаты и выводы:

1. С применением алгоритма обработки данных и метода разведочного анализа данных (exploratory data analysis), выявлены неочевидные закономерности возникновения лесных пожаров, по времени и локации их возникновения. В частности, по графикам

агрегированных значении возникновения лесных пожаров по месяцам года, по неделям года, по дням года, по дням месяца и дням недели, выявлены явные закономерности возникновения пожаров по времени.

2. С целью минимизации неполноты информации и повышения репрезентативности информации о возникновении лесных пожаров, на основе выявленных закономерностей, с применением инструментов «инженерия данных» (data engineering) были рассчитаны и введены дополнительные дискредитирующие элементы данных.
3. Для оценки статистической взаимосвязи между типами лесных пожаров и введенными элементами данных, рассчитаны парные коэффициенты корреляции и построена корреляционная матрица. По значениям коэффициентов корреляции, было установлено, что рассчитанные и введенные дополнительные элементы данных являются значимыми, и могут вполне использоваться в качестве входных данных для построения модели прогнозирования лесных пожаров.
4. На основе алгоритма «k-ближайших соседей (k-NN)», разработана модель прогнозирования лесных пожаров по времени и локации их возникновения. Разработанная модель на экспериментальных тестовых данных демонстрировал аккуратность (accuracy), точность (precision) и полноту (recall) прогнозирования от 0,82 до 0,925, что превосходит по точности традиционных методов на 15–20%.
5. С применением такого метода кластеризации как k-средних (k-means clustering), экспериментальные данные о лесных пожарах по времени и локации их возникновения были кластеризованы. Это было сделано для того, чтобы дополнительно оценить схожесть и различие между типами лесных пожаров.

***Литература***

1. Воробьев Ю.Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы. М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004.

2. Коваль Ю.Н. Анализ пожаров на территории Усинского лесничества // Безопасность жизнедеятельности. 2021;1(421):50-53.

3. Станкевич Т.С. Разработка метода оперативного прогнозирования динамики развития лесного пожара посредством искусственного интеллекта и глубокого машинного обучения // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018;22(9):111-120.

4. Барталев С.А., Стыценко Ф.В., Егоров В.А., Лупян Е.А. Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров // Лесоведение. 2015;2:83-94.

5. Бондур В.Г., Гинзбург А.С. Эмиссия углеродсодержащих газов и аэрозолей от природных пожаров на территории России по данным космического мониторинга // Доклады Академии наук. 2016;466(4):473-477. Doi: 10.7868/S0869565216040186.

6. Бондур В.Г., Гордо К.А., Кладов В.Л. Пространственно-временные распределения площадей природных пожаров и эмиссий углеродсодержащих газов и аэрозолей на территории Северной Евразии по данным космического мониторинга // Исследование Земли из космоса. 2016;6:3-20. Doi: 10.7868/S0205961416060105.

## *Application of artificial intelligence technologies and tools in the recognition and forecasting of forest fires in the Russian Federation*

Kodirov Sh.Sh.[1], Kirpichev V.E.[2]

[1] South Ural State University, Department of Information and Measuring Equipment, Chelyabinsk, Russia

[2] MBOU secondary school No. 8 named after M.I. Busygina, Ust-Ilimsk, Russia

kodirovss@susu.ru, kirpichev.vladimir@list.ru

Russia is rightfully considered a forest power, it accounts for 1/5 of all the world's forests, 1/2 of all coniferous forests, forests occupy ~ 50% of the country's total area and amount to 1.2 billion hectares. Protecting forest resources from fire is an important task of forest management. The main cause of forest death is fires. Enormous funds are allocated and spent on the costs of extinguishing forest fires. According to the Ministry of Natural Resources, the damage from forest fires in 2021 amounted to 10.6 billion rubles. It should be noted that the real economic damage from a forest fire

consists not only of the damage caused to the forest, industrial and other facilities, but also of the costs associated directly with extinguishing. Accordingly, in order to minimize the above-mentioned damages and costs, it is necessary to localize and eliminate fires at an early stage. However, in order to anticipate fires at an early stage (eg location, type of fire, likely time of occurrence), it is necessary to have reliable predictions about the risks of their occurrence. To do this, it is necessary to develop a system for monitoring and predicting the risks of fires using advanced data processing technologies. From the foregoing, the great importance of organizing a reliable system for monitoring and forecasting fire risks for timely detection and taking measures to prevent forest fires, which allows minimizing economic, environmental (and, in some cases, human) damage, becomes obvious [1–4].

Previously, the problem of forest fires was unsolvable in any country in the world, since the conditions for the occurrence of a fire, the nature of its behavior and the possibility of extinguishing it depend on a combination of many different factors, both direct and indirect. The current predictive models [3–6] have insufficient forecasting accuracy, and they are also based on synthetic data, which limits their application in real conditions. In addition, existing models do not take into account the temporal characteristics of the occurrence of fire types. Therefore, it is necessary to develop a data processing algorithm and a forest fire forecasting model that takes into account the temporal and geographical features of the territory of the Russian Federation.

In the presented work, a new method for developing a data processing algorithm and a model for predicting forest fires by time and location of their occurrence for the territory of the Russian Federation is proposed. In this work, the most advanced data processing methods, as well as machine learning algorithms, were applied.

Main results and conclusions:

1. Using the data processing algorithm and the exploratory data analysis method, non-obvious regularities in the occurrence of forest fires were revealed, according to the time and location of their occurrence. In particular, according to the graphs of the aggregated value of the occurrence of forest fires by months of the year, by weeks of the year, by days of the year, by days of the month and days of the week, clear regularities in the occurrence of fires over time were revealed.

2. In order to minimize the incompleteness of information and increase the representativeness of information about the occurrence of forest fires, based on the patterns identified, using data engineering tools, additional damaging data elements were calculated and introduced.

3. To assess the statistical relationship between the types of forest fires and the input data items, paired correlation coefficients were calculated and a correlation matrix was built. According to the values of the correlation coefficients, it was found that the calculated and introduced additional data elements are significant and can be fully used as input data for building a forest fire forecasting model.

4. Based on the “k-nearest neighbors (k-NN)” algorithm, a model for predicting forest fires in time and location of their occurrence has been developed. The developed model on experimental test data demonstrated the accuracy (accuracy), accuracy (precision) and completeness (recall) of forecasting from 0.82 to 0.925, which exceeds the accuracy of traditional methods by 15–20%.

5. Using such a clustering method as k-means (k-means clustering), experimental data on forest fires by time and location of their occurrence were clustered. This was done in order to further assess the similarities and differences between wildfire types.

### *References*

1. Vorobyov Yu.L. Forest fires in Russia: State and problems. M.: DEKS-PRESS, 2004.

2. Koval Yu.N. Analysis of fires on the territory of the Usinsky forestry // Safety of life. 2021;1(421):50-53.

3. Stankevich T.S. Development of a method for real-time forecasting of forest fire development dynamics using artificial intelligence and deep machine learning. Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2018;22(9):111-120.

4. Bartalev S.A., Stytsenko F.V., Egorov V.A., Lupyan E.A. Satellite assessment of the death of forests in Russia from fires // Lesovedenie. 2015;2:83-94.

5. Bondur V.G., Ginzburg A.S. Emission of carbon-containing gases and aerosols from natural fires in Russia according to space monitoring data. Doklady Akademii Nauk. 2016;466(4):473-477. Doi:

10.7868/S0869565216040186.
6. Bondur V.G., Gordo K.A., Kladov V.L. Spatial and temporal distributions of areas of natural fires and emissions of carbon-containing gases and aerosols on the territory of Northern Eurasia according to space monitoring data // Research of the Earth from space. 2016;6:3-20. Doi: 10.7868/S0205961416060105.

# 人工智能技術和工具在俄羅斯聯邦森林火災識別預報中的應用

Kodirov Sh.Sh.[1], Kirpichev V.E.[2]
[1] 南烏拉爾國立大學信息與測量設備系，俄羅斯車里雅賓斯克
[2] 以 M. I. 命名的 MBOU 8 號中學 Busygina，烏斯季伊利姆斯克，俄羅斯
kodirovss@susu.ru, kirpichev.vladimir@list.ru

俄羅斯理所當然地被認為是一個森林大國，它佔世界所有森林的 1/5，所有針葉林的 1/2，森林占該國總面積的 ~ 50%，達 12 億公頃。 保護森林資源免遭火燒是森林經營的一項重要任務。 森林死亡的主要原因是火災。 大量資金被分配和花費在撲滅森林火災的費用上。 據自然資源部稱，2021 年森林火災造成的損失達 106 億盧布。 應當指出，森林火災的實際經濟損失不僅包括對森林、工業和其他設施造成的損失，還包括與滅火直接相關的成本。 因此，為了盡量減少上述損失和成本，有必要在早期階段定位並消除火災。 然而，為了在早期階段預測火災（例如位置、火災類型、可能發生的時間），有必要對其發生的風險進行可靠的預測。 為此，有必要開發一個使用先進數據處理技術監測和預測火災風險的系統。 綜上所述，建立可靠的火災風險監測和預報系統以便及時發現和採取措施預防森林火災的重要性變得顯而易見，這可以最大限度地減少經濟、環境（在某些情況下，人類）的損失 [1 - 4]。

以前，世界上任何一個國家都無法解決森林火災問題，因為火災發生的條件、火災行為的性質以及撲滅火災的可能性取決於許多直接和間接因素的組合. 目前的預測模型[3-6]預測精度不足，而且還是基於合成數據，限制了其在實際條件下的應用。 此外，現有模型沒有考慮火災類型發生的時間特徵。 因此，有必要開發一種考慮到俄羅斯聯邦領土的時間和地理特徵的數據處理算法和森林火災預報模型。

在目前的工作中，提出了一種開發數據處理算法的新方法和一種按時間和地點預測俄羅斯聯邦境內森林火災發生的模型。 在這項工作中，應用了最先進的數據處理方法以及機器學習算法。

文學

1. Vorobyov Yu.L. Forest fires in Russia: State and problems. M.: DEKS-PRESS, 2004.
2. Koval Yu.N. Analysis of fires on the territory of the Usinsky forestry // Safety of life. 2021;1(421):50-53.
3. Stankevich T.S. Development of a method for real-time forecasting of forest fire development dynamics using artificial intelligence and deep machine learning. Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2018;22(9):111-120.
4. Bartalev S.A., Stytsenko F.V., Egorov V.A., Lupyan E.A. Satellite assessment of the death of forests in Russia from fires // Lesovedenie. 2015;2:83-94.
5. Bondur V.G., Ginzburg A.S. Emission of carbon-containing gases and aerosols from natural fires in Russia according to space monitoring data. Doklady Akademii Nauk. 2016;466(4):473-477. Doi: 10.7868/S0869565216040186.
6. Bondur V.G., Gordo K.A., Kladov V.L. Spatial and temporal distributions of areas of natural fires and emissions of carbon-containing gases and aerosols on the territory of Northern Eurasia according to space monitoring data // Research of the Earth from space. 2016;6:3-20. Doi: 10.7868/S0205961416060105.

# АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ


Akhmetiev P.M.
Arakelyan A.A.,
Avagyan S.,
Aybush A.V.,
Budhagavi Rajarao Badrinath,
Chen Min
Cherepanov D.A.,
Chernigovskaya T.V.
Deepika Naimpally,
Djapic V.
Dragana Bajić1,
Frolkina O.D.
Goan Dimić
Gostev F.E.
Gugnin D.V.
Hakobyan S.,
Hovhannisyan A.,
Hu Ling,
Huang Joshua Zhexue
Hyussyan A.,
Ilić Stepić A.
Jordan F.,
Kumar B.S.
Lyazgin S.A.
Mamedov M.D.,
Masalskii N.V.
Max Rempel,
Mayilyan K.R.
Melikhov S.A.
Michael Patrick Coyle
Milovanović M.
Mitić N.S.
Nersisyan S.,
Nikola Zogović
Nitin Pagariya
Ognjanović Z.
Pradeepthi K.V.
Prasanna A.,
Premkumar M.
Qin Yong,
Rajan E. G.
Ramanujam M.V.
Rifayathali M. A.
Samir Khalekar,
Semenov A.Yu.
Shaocheng Qu
Shelaev I.V.,
Shtark M.B.
Skopenkov A.
Srikanth Pooram,
Styrt O.G.
Veljković A.N.
Venkata Raman S.
Wang Xiumei Dr.
Wenbin Hu,
Xiao-Jun Yang
Xiaojing Ma
XiaoSong Zhang
Xue Zhang,
Yuliya Gaidamaka,
Zhengbing Hu
Zhiming Ding,

Аверкин А.Н.
Азаренко В.В.
Акбердин И.Р.
Аксенов А.Г.
Алексеев А.Ю.
Лихоманова Е.Н.
Лобачевский Я.П.,
Лукин А.В.
Львова О.В.,
Любимов А.П.

Алексеев А.Ю.
Алтаев Н. К.
Альт В.В.
Аммалайнен А.В.,
Амосов Г.Г.
Андреюк Д.С.
Анохин К.В.
Антропова Е.А.,
Ардисламов В.В.
Аристов В.В.
Аристов Э.Г.
Арутюнов С.Д.
Аршинов В.И.
Атаева О.М.
Афанасьева Т.В.
Афонников Д.А.
Бабанов Н.Д.
Бакач Н.Г.,
Барышников П.Н.
Бахтизин А.Р.
Беликова К.М.
Бельцова С.
Беневоленский С.Б.
Берсенев Е.Ю.
Бетелин В.Б.
Благосклонов Н.А.
Болдырев И.А.
Борисов В.В.
Борухов В.Т.
Брюханов А.Ю.
Брюханов А.Ю.
Будадин О.Н.,
Будкин Ю.В.
Будников Д.А.
Буле Ж-Ю.
Быльева Д. С.
Варшавский П.Р.
Васюков В.Л.
Вензель А.С.
Винник Д.В.
Виноградов А.В.
Маджумаев М.М.
Мазуров М.Е.
Макаренко Н.Г.
Макаров В.Л.
Малкова А.Н.
Малыхина Г.Ф.
Малютин В.Б.
Мантуров В.О.
Манцивода А.В.,
Марков В.В.
Мартиросян Д.Ю.,
Марченко М.А.
Матвеев И.А.
Матти Питканен
Машарипов Р.С.,
Медынцев А.А.
Мелентьева Н.
Мелких А.
Мехтиев М.Г.
Минбалеев А.В.
Мисник А.Е.
Михайлов И.Ф.
Михайлов И.Ф.
Михайловский Н.Э.
Михеенкова М.А.
Моисеева А.Ю.
Молодченков А.И.
Морозов А.В.
Морозов В.П.
Морошкина Н.В.,
Музафаров В.М.
Муртазина Е.П.
Муртазина Е.П.
Мякишев-Ремпель М.В.
Надточенко В.А.
Нечесов А.В.
Николаев А.А.
Новиков В.Н.
Новиков Н.Ю.
Орлов Ю.Л.
Орлова Н.Г.,

Виноградов Г.П.
Витяев Е.Е.
Вишнякова Е.В.
Войцехович В.Э.
Войцехович В.Э.
Волков А.К.
Воробей А.С.
Воронцов А.М.
Воронцов К.В.
Воропаева Я.В.
Выголов О.В.
Габитов И.И.
Габрусенко К.А.
Гавриленко Т.В.,
Гаврилин Д.Н.
Гаврилина Д.Э.,
Гаврилова Т.А.,
Гаврюшин С.С.
Гайслер Е.В.,
Галкин В.А.
Гальцов Д.В.
Гарбук С.В.
Гершкович В.А.,
Глазунов В.А.
Глазьев С.Ю.
Глен Рейн
Глинушкин А.П.
Годарев-Лозовский М.Г.
Годжаев З.А.
Гойдина Т.А.
Голдыбан В.В.
Гончаров С.С.
Горкин А.Г.
Городецкий В.И.
Грибова В.В.
Гримберг Д.С.
Гумиров В.Ш.
Девяткин Д.А.,
Деменков П.С.,
Дин Чжимин,
Диченский А.В.
Островский М.А.
Осыченко А.А.,
Павлючик Е.И.,
Падалка Ю.А.
Пальчевский А.И.,
Пальянов А.Ю.,
Пальянова Н.В.
Палюх Б.В.,
Панчелюга В.А.,
Передня В.И.
Перцов С.С.
Першуткин С.Н.
Пестряков Е.В.
Петрова В.В.
Петрунин Ю.Ю.
Петухов С.В.
Покровский А.Г.,
Покровский И.Л.
Полетаева И.И.
Полуян П.В.
Поляков В.Ю.
Поляков В.Ю.
Полякова Т.В.
Пономаренко М.П.
Попова В.А.
Постнов С.С.
Прокопенко С.А.
Прокопчина С.В.,
Пронин А.Н.,
Пучков М.М.
Разников В.В.
Разникова М.О.
Ракшун Я.В.
Рассадин А.А.,
Ремпель М.В.
Ризниченко Г.Ю.
Ричард Алан Миллер,
Рогачев А.Д.
Родин К.А.
Романов Д.В.
Романова П.С.

Долгих А.И.
Домблидес А.С.
Дорохов А.С.
Дубровская Е.С.
Дыгало Н.Н.
Елхова О.И.
Емельянов А. Н.
Ениколопов С.Н.
Еремеев А.П.
Ефремов А.А.
Жарков А.П.,
Жданов А.А.
Жебель В.В.
Жолобов А.В.
Забежайло М.И.
Зайкова А.С.
Залесский А.Д.
Захарова Н.И.
Заяц Г.М.
Зубарев Д.В.
Зырянова Н. В
Зырянова Н.В.
Зятьков Н.Ю.
Ибряева О.Л.
Иванисенко В.А.
Иванисенко Т.В.
Иванов А.Б.
Иванов В.К.
Ирэн Цезарь
Исакевич В.В.
Исакевич Д.В.
Ихлов Б. Л.
Кабанихин С.И.,
Каганов Ю.Т.
Казакевич П.П.
Казеннов А.М.
Каляев И.А.
Капуткина Н.Е.
Каратыгин Н.А.
Каратыгин Н.А.
Каспранов И.
Ростовцев В.Н.
Ростовцев Р.А.
Рочагов А.В.
Рубин А.Б.
Румянцева А.А.
Рябчикова Н. А.
Савина А.И.
Савина Е.А.
Савостьянов Г.А.
Савченкова Е.А.
Савченкова И.П.
Сайфутдинова З.
Санджаков А.А.
Сапожникова К.В.
Сапунов В.Б.
Свирин В.И.
Семенов А.Л.
Сенько О.В.,
Сергеев С.Ф.
Серебряков В.А.
Сибирёв А.В.
Симонов Н.А.
Синицин В.В.,
Синицын С.А.
Скиба И.Р.
Слинко Д.Б.,
Смелянский Р.Л.
Смирнов И.Г.
Смирнов С.С.
Смолин В.С.
Смольянинова В.А.
Смородинов А.Д.,
Снежин А.Н.
Соколов С. М.
Солдатенко А.В.
Соченков И.В.
Сошинский И.С.
Спиридонов В. Ф.
Станкевич М.А.
Старовойтов С.И.
Степанов Е.П.

Катаев Ю.В.
Катречко С.Л.
Кашапов А.А.
Киреев М.В.
Кирпичев В.Э.
Кирсанов В.В.,
Кирьянов А.А.
Киселев С.В.
Клименко А.В.
Клюшин Я.Г.
Князева И.С.,
Кобелев А.В.
Кобляков А.А.
Кобринский Б.А.
Ковалева А.В.
Ковалева А.В.
Кодиров Ш.Ш.
Козельская С.О.
Козлов В.А.
Колонин А.Г.
Колосов Е.В.
Колтовой Н.
Колчанов Н.А.,
Комлач Д. И.
Коробейникова И.И.
Коровин Я.С.
Коровкин С.Ю.
Королёв А. Д.
Коротков А.Д.
Косарева К.В.
Костомахин М.Н.
Костюков Д.С.
Котенко И.В.
Котковский С.
Криворотько О.И.,
Крикленко Е.А.,
Крошкин А.Н.,
Ксендзук А.В.
Кубряк О.В.
Кудина М.В.
Кудрявцева Е.А.
Степанян И.В.
Судаков С.К.
Сушкова Л.Т.
Тайманов Р.Е.
Тетенков Н. Б.
Ткаченко В.В.,
Толоконников Г.К.
Точило У.А.
Трунцевский Ю.В.
Туманов В.Е.
Туркина В.А.,
Тучкова Н.П.
Умрюхин А.Е.
Ушаков В.Л.
Ушаков Д.В.
Фалько В. И.
Федоренко В.Ф.
Федотов А. А.
Федотов М.Ю.
Филипеня О.Л.
Филиппов С.С.,
Фокин А.И.
Фомин А.С.
Хазина Л.В.
Хлебалин А.В.
Целищев В.В.
Цой Ю.А.
Чавдаров А.В.
Чернавский А.В.
Черноиванов В.И.
Чуганская А.А.
Чудова Н.В.
Шапошникова Ю.С.,
Шелекета В.О.
Шестаков А.Л.,
Шогенов Ю.Х.
Шулепов П.А.
Шушарджан С.В.
Щепин Е.В.
Щукин С.И.
Энтони Фуччионе

Кудряшев А.Ф.
Кузин А.Ю.
Кузнецова А.В.
Кузнецова Ю.М.
Курбанов Р.К.
Курбанов Рашад Афатович
Кучеров И.И.
Лаврентьев А.Б.
Лазарева Н.Ю.
Лапшина М.А.
Лачуга Ю.Ф.
Лашин С.А.
Лебединский И.Ю.,
Лекторский В.А.
Лермонтов С.А.
Липич Я.Н.
Южаков В.Н.
Юматов Е.А.
Юрин А.Н.
Юрьев Р.А.
Явелов И.С.
Яковенко И.Ю
Ястребов О.А.
Яхно В.Г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ ❁ TABLE OF CONTENTS ❁ 目錄


Сопредседатели Конгресса и руководители делегаций стран участниц Конгресса
Co-chairs of the Congress and heads of delegations of the countries participating in the Congress
大會共同主席及與會各國代表團團長 4

Научные центры участники Конгресса
Scientific centers participants of the Congress
科學中心大會參與者 6

Организационный Комитет Конгресса
Organizing Committee of the Congress
大會籌備委員會 12

Программа Конгресса
Congress program
大會議程 17


## Приветствия Конрессу ❁ Greetings to the Congress ❁ 向大會致意


Приветствие от РАН Президента РАН академика РАН - Greetings from the RAS, President of the RAS, Academician of the RAS - 俄羅斯科學院院士、俄羅斯科學院院長、俄羅斯科學院院士致辭 ***Красников Г.Я.*** 176

Приветствие от Национальной академии наук Беларуси, Заместитель Председателя Президиума НАН Беларуси, академик РАН член-корреспондента НАН Беларуси - Greetings from the National Academy of Sciences of Belarus, Deputy Chairman of the Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus, Academician of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus - 白俄羅斯國家科學院、白俄羅斯國家科學院主席團副主席、俄羅斯科學院院士、白俄羅 ***Казакевич П.П.*** 14

斯國家科學院通訊院士致辭

Приветствие от Китайской академии наук, директор Китайско-Российского математического центра, академик Китайской академии наук - Greetings from the Chinese Academy of Sciences, Director of the China-Russia Mathematical Center, Academician of the Chinese Academy of Sciences - 中國科學院院士、中俄數學中心主任、中國科學院院士致辭 ***Zhang Jiping*** 16

Приветствие от Индийской национальной академии наук, директор Pentagram Research Centre - Greetings from the Indian National Academy of Sciences, Director of Pentagram Research Center - 來自印度國家科學院五角星研究中心主任的問候 ***E. G. Rajan*** 19

Приветствие от республики Казахстан и Национальной академии наук республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан, Председатель Комиссии по правам человека при Президенте Республики Казахстан - Greetings from the Republic of Kazakhstan and the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan under the President of the Republic of Kazakhstan, Chairman of the Human Rights Commission under the President of the Republic of Kazakhstan - 哈薩克共和國和哈薩克共和國總統哈薩克共和國國家科學院、哈薩克共和國總統人權委員會主席的問候 ***Рогов И.И.*** 21

Приветствие от Республики Узбекистан и Академии наук Узбекистана Первый заместитель Спикера Законодательной палаты Олий Мажлиса Республики Узбекистан, академик Академии наук Узбекистана - Greetings from the Republic of Uzbekistan and the Academy of Sciences of Uzbekistan First Deputy Speaker of the Legislative Chamber of the Oliy Majlis of the Republic of Uzbekistan, Academician of the Academy of Sciences of Uzbekistan - 來自烏茲別 ***Саидов А.Х.*** 23

克共和國和烏茲別克斯坦科學院的問候烏茲別克共和國最高會議立法院第一副議長、烏茲別克斯坦科學院院士

Приветствие от Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН, заместитель академика-секретаря Отделения, академик РАН - Greetings from the Department of Energy, Mechanical Engineering, Mechanics and Control Processes of the Russian Academy of Sciences, Deputy Academician-Secretary of the Department, Academician of the Russian Academy of Sciences - 俄羅斯科學院能源、機械工程、力學與控制過程部副院士兼部秘書、俄羅斯科學院院士致辭 ***Каляев И.А.*** 28

Приветствие от Отделения математических наук РАН, член бюро Отделения, академик РАН - Greetings from the Division of Mathematical Sciences of the Russian Academy of Sciences, member of the Bureau of the Division, academician of the Russian Academy of Sciences - 俄羅斯科學院數學科學部主席團成員、俄羅斯科學院院士致辭 ***Семёнов А.Л.*** 30

Приветствие от Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН, член Бюро Отделения, академик РАН - Greetings from the Department of Nanotechnologies and Information Technologies of the Russian Academy of Sciences, member of the Bureau of the Department, academician of the Russian Academy of Sciences - 俄羅斯科學院奈米科技與資訊科技部主席團成員、俄羅斯科學院院士致辭 ***Колчанов Н.А.*** 33

Приветствие от Отделения физиологических наук РАН и Российского физиологического общества имени И.П. Павлова, заместитель академика-секретаря Отделения и Президент Общества, академик РАН - Greetings from the Department of Physiological Sciences of the Russian Academy of

Sciences and the Russian Physiological Society named after I.P. Pavlova, Deputy Academician-Secretary of the Department and President of the Society, Academician of the Russian Academy of Sciences - 來自俄羅斯科學院生理科學部和以 I.P. 命名的俄羅斯生理學會的問候 帕夫洛娃（Pavlova），副院士兼系秘書、學會主席，俄羅斯科學院院士 | ***Островский М.А.*** | 38

Приветствие от Отделения общественных наук РАН, академик-секретарь Отделения, заместитель Президента РАН, академик РАН - Greetings from the Department of Social Sciences of the Russian Academy of Sciences, Academician-Secretary of the Department, Deputy President of the Russian Academy of Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences - 俄羅斯科學院社會科學部院士、部秘書、俄羅斯科學院副院長、俄羅斯科學院院士致辭 | ***Хабриева Т.Я.*** | 40

Приветствие от Отделения сельскохозяйственных наук РАН, академик-секретарь Отделения, академик РАН - Greetings from the Division of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences, Academician-Secretary of the Division, Academician of the Russian Academy of Sciences - 俄羅斯科學院農業科學部院士、農業科學部秘書、俄羅斯科學院院士致辭 | ***Лобачевский Я.П.*** | 43

Приветствие от Научного совета РАН по химической физике, председатель Научного совета, вице-президент РАН, академик РАН - Greetings from the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on Chemical Physics, Chairman of the Scientific Council, Vice-President of the Russian Academy of Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences - 俄羅斯科學院化學物理科學委員會主席、俄羅斯科學院副院長、俄羅斯科學院院士致辭 | ***Алдошин С.М.*** | 45

Приветствие от Международной и Российской инженерных академий, вице-

президент академий, академик РАН - Greetings from the International and Russian Engineering Academies, Vice-President of the Academies, Academician of the Russian Academy of Sciences - 來自國際和俄羅斯工程院、院副院長、俄羅斯科學院院士的問候 | ***Черноиванов В.И.*** | 47

Приветствие Сибирской научной школы искусственного интеллекта, академики РАН - Greetings from the Siberian Scientific School of Artificial Intelligence, academicians of the Russian Academy of Sciences - 西伯利亞人工智慧科學學院、俄羅斯科學院院士們的問候 | ***Ершов Ю.Л.*** и ***Гончаров С.С.*** | 51

Приветствие от НИИ нормальной физиологии им. П.К.Анохина РАН, директор НИИ, член-корреспондент РАН - Greetings from the Research Institute of Normal Physiology named after. P.K. Anokhin RAS, director of the research institute, corresponding member of the RAS - 來自正常生理研究所的問候。 P.K. Anokhin RAS，研究所所長，RAS 通訊委員 | ***Перцов С.С.*** | 55

Приветствие от International Research Association of Modern Education and Computer Science, China (RAMECS), Китай, Dr. - Greetings from the International Research Association of Modern Education and Computer Science, China (RAMECS) - 來自中國現代教育與電腦科學國際研究會（RAMECS）的問候 | ***Zhengbing Hu*** | 58

Приветствие от Международной и Российской инженерных академий, член-корреспондент РАН - Greetings from the International and Russian Engineering Academies, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences - 來自國際和俄羅斯工程院、俄羅斯科學院通訊院士的問候 | ***Гусев Б.В.*** | 59

Приветствие от Беларусского государственного университета, ректор университета, д.п.н. - Greetings from the Belarusian State University, Rector of the | ***Король А.Д.*** | 61

University - 白俄羅斯國立大學校長的問候

Приветствие от Московской государственной консерватории им. П.И. Чайковского, ректор консерватории, проф. - Greetings from the Moscow State Conservatory. P.I. Tchaikovsky, rector of the conservatory - 來自莫斯科國立音樂學院的問候。 彼得·伊里奇·柴可夫斯基，音樂學院院長 — ***Соколов А.С.*** — 64

Заключительное приветствие сопредседателя Конгресса, вице-президента РАН, академика-секретаря Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН, академика РАН - Final greeting from the co-chairman of the Congress, Vice-President of the Russian Academy of Sciences, Academician-Secretary of the Department of Nanotechnologies and Information Technologies of the Russian Academy of Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences - 大會共同主席、俄羅斯科學院副院長、俄羅斯科學院院士兼奈米科技與資訊科技部秘書、俄羅斯科學院院士致最後的問候 — ***Панченко В.Я.*** — 231

## ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ ❁ ABSTRACTS ❁ 摘要

### *Пленарные доклады ❁ Plenary reports ❁ 全體會議報告*

### *26 июня 2023 г.*

Лекторский В.А., академик РАН, «Системы, теории сознания, философия искусственного интеллекта, роль формализации и математического моделирования» 233

Судаков С.К., чл.-корр. РАН, «Функциональные системы, сложная структура акцептора результата действия» 236

Черноиванов В.И., академик РАН, «Биомашсистемы, роль системного подхода в АПК и других отраслях» 81

Толоконников Г.К., к.ф.-м.н., «Категорные системы» 84

Петухов С.В., д.ф.-м.н., «Матричная генетика и алгебраическая биология» 87

Гончаров С.С., академик РАН, «Задачный подход в математике и приложениях к искусственному интеллекту» 90

Витяев Е.Е., д.ф.-м.н., «Не редукционистская теория сознания» 93
Анохин К.В., академик РАН, «Сознание в нейронных гиперсетях» 96
Ушаков Д.В., академик РАН, «Архитектура когнитивной системы человека и искусственный интеллект» 99
Каляев И.А., академик РАН, «Как измерить искусственный интеллект» 102
Wenbin Hu, Zhengbing Hu «The Research Progress and Application of Signed Social Network» (Wuhan University, Wuhan, China) 105
Xiao-Jun Yang «A New Hot Problem in Analytic Number Theory» (China University of Mining and Technology, Xuzhou, China) 108
Xiaojing Ma «A Gradients Scrutinizer to Thwart Split-Learning Hijacking Attacks» (Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, China) 111
Семенов А.Л., академик РАН, «Образование расширенной личности века искусственного интеллекта» 114
Dr. E. G. Rajan «On the Notion of Constructive Sets and Function Spaces in the Framework of Markov's Mathematico-Logic» (Индия) 117
Max Rempel, Ph.D, «Parallelism of Water Layers and DNA Bases: Unfolding the Crystallization Origin of Layered Water Structure and its Implication on Chromatin Dynamics» (Сан-Диего, США) 120
Мазуров М.Е., д.ф.-м.н., «О физике сознания и его формировании» 123
Кобляков А.А., «Логика Творчества - новые трансмерные отношения» 126

***27 июня 2023 г.***

Семенов А.Л., академик РАН, «Вопросы определимости» 129
Петухов С.В., д.ф.-м.н., Генетическая биомеханика и универсальные правила стохастики геномных ДНК 132
Гарбук С.В., НИУ ВШЭ, «Нормативно-техническая поддержка применения методов искусственного интеллекта при обработке данных в средствах измерений» 135
Prof. Dr. Michael Patrick Coyle (Brody Medical School of ECU/ Avatar MedVision US LLC, NC, USA) «Three-Dimensional Logical Image Processing System» 138
Ramanujam M.V. (Founder and CEO, Propinquity Genomics and Sciences, Bangalore, India) «Fractal Genome-Fractal Cancer-Science to Real world Clinical implications: Genome Analytics to Rescue Ancient Indian Prowess in Mathematics and Computer Science» 141
Гаврюшин С.С., д.т.н., «Программно-аппаратная поддержка высокотехнологичных медицинских хирургических операций». 144
Целищев В.В., д.ф.н., «Алгоритмическая версия ментализма:

диагональный аргумент Пенроуза» 147
Щепин Е.В., чл.-корр. РАН, «Применение топологии к оптическому распознаванию» 149
Свирин В.И. «Алгебры Клиффорда в генетической биомеханике» 152
Dr. Deepika Naimpally, Dr. Pradeepthi K.V., Dr. S. Venkata Raman (University of Hyderabad, CR Rao Research Centre) "Application Identification from Encrypted Traffic using Entropy Estimation and Machine Learning" 155
Любимов А.П., д.ю.н., «Жорес Алферов - легенда мировой науки» 158
Budhagavi Rajarao Badrinath, «Applied Markov Models of Social Engineering Processes for Fundamental Information Rights Issue» (Индия) 161
Амосов Г.Г., д.ф.-м.н., Комиссаренко А.В. «Возможность алгебраических операций над музыкальным текстом: ритм, интонация, тембр» 164
Гальцов Д.В., д.ф.-м.н., «О роли субъекта в музыке и физике» 167
Капуткина Н.Е., д.ф.-м.н., «Термодинамические ограничения квантовых вычислительных систем» 170
Буле Ж-Ю «Нумерация двадцати протеиногенных аминокислот» 173
Пучков М.М. «Новые музыкальные медиа в эпоху постцифрового искусства» 176
Сошинский И.С. «Алгоритмизация принципа «Обмана ожидания» и его системообразующий фактор в музыкальном творчестве» 179

***28 июня 2023 г.***

Островский М.А., академик РАН, «Механизм генерации, передачи и обработки зрительного (фоторецепторного) сигнала в сетчатке глаза» 182
Shaocheng Qu, prof. “Research on Sliding Mode Control Theory and Application of Sensorless Permanent Magnet Synchronous Motor System” (Central China Normal University, Wuhan, China) 185
Умрюхин А.Е., д.м.н., «Алгоритмы поведения человека: может ли искусственный сильный интеллект быть лишён ограничений человеческого» 188
Муртазина Е.П., .м.н., Перцов С.С., чл.-корр. РАН, проф. РАН, д.м.н., «Системные аспекты взаимодействия людей и субъектов с искусственным интеллектом» 191
Ковалева А.В. к.б.н., Крикленко Е.А., Лихоманова Е.Н. «Кардиореспираторные взаимодействия при выполнении человеком заданий разного уровня сложности» 194
Каратыгин Н.А. к.б.н., Коробейникова И.И. к.б.н., Перцов С.С. чл.-корр. РАН, проф. РАН, д.м.н., «Влияние ритмически организованной

оптической стимуляции на спектрально-пространственные характеристики α-диапазона ЭЭГ человека при выполнении когнитивной задачи» 197
Клименко А.В. к.м.н., Перцов С.С. чл.-корр. РАН, проф. РАН, д.м.н., Яковенко И.Ю проф. д.б.н., «Физиологическая цена высокорезультативного целенаправленного поведения у людей с различными психофизиологическими характеристиками на модели эндохирургического тренинга» 200
Бабанов Н.Д. к.б.н., Кубряк О.В. д.б.н. «Особенности сенсомоторной деятельности человека в экзоскелете» 203
Аристов В.В., Кубряк О.В. д.б.н., Степанян И.В. «Поиск новых методов анализа ЭЭГ с использованием разномасштабных кольцевых структур» 206
Гаврилова Т.А., д.т.н., Визуализация концептуальных знаний в рамках парадигмы "прозрачного" или объяснимого искусственного интеллекта 209
Смелянский Р.Л., чл.-корр. РАН, Степанов Е.П. Применение методов с машинным обучением для управления сетевой вычислительной инфраструктурой 211
Аверкин А.Н., к.т.н., «Объяснимый искусственный интеллект, как часть искусственного интеллекта 3-его поколения». 214
Еремеев А.П., д.т.н., Варшавский П.Р., к.т.н., «Методы и подходы к разработке интеллектуальных СППР реального времени» 217
Ростовцев В.Н., д.м.н., Проект системы ФСД-мониторинга здоровья 220
Афанасьева Т.В., д.т.н., Нечёткие модели в задаче дескриптивного и предиктивного анализа медицинских данных пациентов с хроническими заболеваниями 223
Ихлов Б. Л., к.ф.-м.н., «Деструкция РНК вирусов с помощью микроволн» 226
Рempель М.В., к.б.н., «Проверка гипотезы о резонансах ДНК при помощи вычислительной геномики. Подходы к моделированию водной оболочки ДНК» (Сан-Диего, США) 229
Зырянова Н. В., к.б.н., «Структурирование водных растворов под влиянием олигомеров ДНК и влияние электромагнитных полей на живые структуры» 231

***29 июня 2023 г.***

Глазьев С.Ю., академик РАН «Стратегическое планирование и искусственный интеллект» 234
Макаров В.Л., заместитель председателя НСМИИ РАН, академик

РАН, «Цифровая платформа сети информационных центров как основа цифровой трансформации» 237
Бахтизин А.Р., член-корреспондент РАН «Инструменты цифровой трансформации» 240
Петрунин Ю.Ю., д.ф.н. «Государственное управление и искусственный интеллект: история и современность» 243
Кудина М.В., д.э.н., зам. декана факультета государственного управления МГУ имени М.В. Ломоносова «Цифровые технологии в управлении человеческим капиталом» 246
Алексеев А.Ю., д.ф.н., координатор научных программ НСМИИ РАН «Основные вопросы философии искусственного интеллекта» 249
Михайлов И.Ф., д.ф.н. «Фаллибилизм как основа рациональности: философские импликации для естественного и искусственного интеллекта» 252
Шелекета В.О., д.ф.н., проф. "Когнитивно-эпистемологические проблемы использования биологических структур для деятельности информационно-аналитических систем" 255
Рябчикова Н. А., д.б.н., МГУ имени М.В. Ломоносова, «Искусственный интеллект в оценке когнитивных функций мозга». 258
Лачуга Ю.Ф., академик РАН, Дорохов А.С., академик РАН «Возможности современных подходов в искусственном интеллекте для прорывных технологий в сельскохозяйственном производстве» 261
Казакевич П.П., академик РАН (онлайн, Минск) «Автоматизированная сортировка яблок системой технического зрения с искусственной нейронной сетью глубокого обучения» 264
Альт В.В., академик РАН (Новосибирск) «Информационные технологии в сельском хозяйстве» 267
Федоренко В.Ф., академик РАН «Альтернативные инновационные решения технико-технологического обеспечения обработки и повышения плодородия корнеобитаемых горизонтов почвы» 270
Шогенов Ю.Х., академик РАН «Моделирование бегущих электрических импульсов в проводящей системе высшего растения» 273
Глинушкин А.П., академик РАН «Применение систем интеллектуального мониторинга и раннего оповещения в борьбе с фитофторозом картофеля» 276
Габитов И.И., д-р техн. наук (онлайн, Уфа) «Интеллектуализация технического сервиса машин в АПК» 279
Годжаев З.А., чл.-корр. РАН «Разработка и создание адаптивных, агрофильных ходовых систем сельскохозяйственных мобильных энергосредств с применением элементов искусственного интеллекта» 282
Брюханов А.Ю., чл.-корр. РАН (онлайн, Санкт-Петербург)

«Интеллектуальная аналитическая программная платформа для проактивного управления экологической безопасностью агроэкосистем» 285
Цой Ю.А., чл.-корр. РАН, Романов Д.В., к.х.н., Фокин А.И. «Энергетическая конверсия и цифровизация аграрного производства» 288
Ростовцев Р.А., чл.-корр. РАН, Диченский А.В., канд. с.-х. наук (онлайн, Тверь) «Разработка концепции информационно-аналитической системы производства продукции растениеводства» 291

***30 июня 2023 г.***

Лекторский В.А., академик РАН, «Искусственный интеллект в современной картине мира» 293
Кобринский Б.А., д.м.н., РАИИ, «Интерпретация, объяснимость и доверие к системам искусственного интеллекта» 296
Хабриева Т.Я., академк РАН, «Искусственный интеллект в координатах права» 300
Бетелин В.Б., академик РАН, Галкин В.А., д.ф.-м.н., «Математические проблемы создания искусственных нейронных сетей и искусственный интеллект» 303
Kumar B.S. (Hyderabad, India) «Artificial Intelligence Based Smart Advocacy in Legal Proceedings» 306
Prof. Shaocheng Qu «Research on Sliding Mode Control Theory and Application of Sensorless Permanent Magnet Synchronous Motor System» (Central China Normal University, Wuhan, China) 309
Qin Yong, prof., (Beijing Jiaotong University, Beijing, China., Foreign member, Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia), «Interdisciplinary integration intelligence for rail traffic operation and safety» 312
Сергеев С.Ф., д.пс.н., «Теория самоорганизующихся когнитивных систем» 315
Борисов В.В., д.т.н., РАИИ, «Мягкие модели и методы в задачах искусственного интеллекта» 318
XiaoSong Zhang, prof., (University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, China., Foreign member, Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia), «Addressing AI-driven global cybersecurity challenges with artificial intelligence» 321
Zhiming Ding, Prof., (Institute of Software, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China., Foreign member, Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia), «AIOT SpatialTemporal Data Management and Data Intelligence» 324
Воронцов К.В., д.ф.-м.н., «Унификация фрагментной разметки текста и оценивания моделей разметки для формализации гуманитарных

знаний» 327
Городецкий В.И., д.т.н., «Математические модели группового поведения и управления на основе экспертных знаний» 330
Srikanth Pooram, Samir Khalekar, Nitin Pagariya (Aurangabad, India) «Artificial Intelligence Based Image Analysis of an Innovative Product Lead-Free X-Ray Radiation Blocking Tiles» 332
Dr. Prasanna A., Dr. Rifayathali M. A., Dr. Premkumar M. "Estimation of Radar Signal Parameters for Creating Electronic Order of Battle Records" 335
Ramanujam M. V. (Founder and CEO, Propinquity Genomics and Sciences, Bangalore, India) «Fractal Genome-Fractal Cancer-Science to Real world Clinical implications: Genome Analytics to Rescue Ancient Indian Prowess in Mathematics and Computer Science» (дополнение) 338
Котенко И.В., д.т.н., Искусственный интеллект для кибербезопасности: анализ современного состояния фундаментальных и прикладных исследований 341
Dragana Bajić1, prof., Goran Dimić, Yuliya Gaidamaka, Nikola Zogović (Univ. of Belgrade IMP, Belgrade, Serbia) «On Telescopic Error-Correcting Capabilities of Splitting Codes» 344
Поляков В.Ю., д.т.н., «Искусственный интеллект в междисциплинарных проблемах транспортного строительства» 347
Мисник А.Е., к.т.н., (Беларусь), «Онтологический инжиниринг кибер-физических систем на основе мета-ассоциативных графов» 350

## ТЕЗИСЫ СЕКЦИОННЫХ ДОКЛАДОВ

## ABSTRACTS OF SECTIONAL REPORTS

## 部門報告摘要

**Вопросы фундаментальной математики и механики и их приложения**

Малютин В.Б., д.ф.-м.н., Институт математики НАН Беларуси, Минск, Беларусь, «Применение функциональных интегралов к одношаговым процессам» 353
Марков В.В., д.ф.-м.н., МИАН им. В.А.Стеклова «О новом лагранжевом взгляде на эволюцию завихрённости в пространственных течениях» 356
Ризниченко Г.Ю., д.ф.-м.н., Рубин А.Б., академик РАН, Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва,

«Моделирование процессов в фотосинтетической мембране высших растений и микроводорослей» 359
Новиков Н.Ю., к.т.н., «Фильтры Картана, решетки и направленности Мура и Смита как новая математическая основа анализа и синтеза систем искусственного интеллекта» 362
Постнов С.С., к.ф.-м.н., ИПУ РАН, Москва, Россия, «Задачи оптимального управления и оценивания состояния для многомерных динамических систем дробного порядка» 365
Жданов А.А., д.ф.-м.н., АО «ИТМиВТ им. С.А. Лебедева РАН», «Некоторые дополнения к пониманию и интерпретации систем» 368
Борухов В.Т., Заяц Г.М. Институт математики НАНБ, Минск, Беларусь, «Метод функциональной идентификации нелинейных уравнений параболического и гиперболического типов» 371
Клюшин Я.Г., к.ф.-м.н., СПбГУГ ГА, Санкт-Петербург, Россия «Механические характеристики электрона» 374
Симонов Н.А., к.ф.-м.н., ФТИАН "Представление семантической информации в образной форме с помощью модели пятен" 377

**Топология и её приложения**
Frolkina O.D. (M.V. Lomonosov Moscow State University) «Properties of a compact set in $R^N$ from its projections» 380
Skopenkov A., Styrt O.G. «Embeddability of join powers and minimal rank of partial matrices» 383
Melikhov S.A. к.ф.-м.н., МИАН им. В.А.Стеклова, «Is every knot isotopic to a PL knot?» 385
Кудрявцева Е.А. МГУ им. М.В.Ломоносова « Algebraic Morse functions and realizability of any planar arrangement of ovals as an algebraic curve» 388
Gugnin D.V. МИАН им. В.А.Стеклова «Any suspension and any homology sphere are 2H-spaces» 391
Akhmetiev P.M. Tikhonov Moscow Institute of Electronics and Mathematics, «On regular cobordism groups with internal symmetries» 394
Новиков В.Н., к.ф.-м.н., МГУ им. М.В.Ломоносова «О неравенствах в произвольных симплексах» 397
Покровский И.Л., МГТУ им. Н.Э. Баумана, «К вопросу о распознавании геометрических образов» 400
Макаренко Н.Г., д.ф.-м.н., д.т.н., ГАО РАН, Санкт-Петербург, «Топология и графодинамика магнитных полей Солнца» 403
Мантуров В.О., д.ф.-м.н., «The photography method» 406

**Теория и применение символьных вычислений с точки зрения**

**искусственного интеллекта**

Майкл Патрик Койл (Медицинская школа ECU/ Avatar MedVision US LLC, Северная Каролина, США) «Трехмерная логическая система обработки изображений» 409

Рамануджам М.В. (основатель и генеральный директор Propinquity Genomics and Sciences, Бангалор, Индия) «Фрактальный геном для клинических последствий реального мира: анализ генома для спасения древнеиндийского мастерства в математике и информатике» 412

*Дипика Наймпалли* (Университет Хайдарабада, Исследовательский центр CR Rao, Индия), Прадипти К.В. (Университет Хайдарабада, Исследовательский центр CR Rao, Индия), С. Венката Раман (Университет Хайдарабада, Исследовательский центр Ч. Р. Рао, Индия) «Идентификация приложений из зашифрованного трафика с использованием оценки энтропии и машинного обучения» 415

Будхагави Раджарао Бадринатх (председатель BRB Associates, Бангалор, Индия) «Прикладные марковские модели процессов социальной инженерии для выдачи прав на фундаментальную информацию» 418

Кумар Б.С. (Law Mechanics, Хайдарабад, Индия) «Умная защита интересов на основе искусственного интеллекта в судебных разбирательствах» 421

Срикант Пурам (председатель Pooram and Pooram Associates, Бангалор, Индия), Самир Халекар (Trigem Innovations, Аурангабад, Индия), Нитин Пагария (Trigem Innovations, Аурангабад, Индия) «Анализ изображения инновационного продукта, не содержащего свинец, блокирующего рентгеновское излучение, на основе искусственного интеллекта» 423

Прасанна А. (факультет математики, колледж Джамала Мохамеда, Тричи, Индия), Доктор Рифаятхали, магистр искусств (факультет математики, колледж Джамала Мохамеда, Тричи, Индия), Д-р Премкумар М. (Институт науки и технологий имени Сатьябамы, Ченнаи, Индия) «Оценка параметров радиолокационного сигнала для создания электронного порядка боевых записей» 426

**Биомеханика и биоинженерия**

Гаврюшин С.С., д.т.н., «Программно-аппаратная поддержка высокотехнологичных медицинских хирургических операций» 429

Каганов Ю.Т., Гримберг Д.С. «Биоинспирированное управление манипулятором типа «хобот» на основе методов искусственного интеллекта» 432

Степанян И.В., д.б.н., «Исследование свойств пространств дробной

размерности в математической биологии и их приложения в вычислительной геометрии, анализе данных и обработке сигналов» 435
Фомин А.С., Глазунов В.А., д.т.н., «Реконфигурируемый механизм для посттравматической реабилитации» 438
Гаврюшин С.С., д.т.н., Арутюнов С.Д., Полякова Т.В. «Конечно-элементное моделирование установки временных внутрикостных имплантатов при лечении концевого дефекта зубного ряда» 441
Румянцева А.А., Романова П.С., Щукин С.И., Волков А.К. «Оценка биологического возраста человека» 444
Кобелев А.В., Попова В.А., Гойдина Т.А., Липич Я.Н., Щукин С.И. «Нейромышечный интерфейс предплечья на основе метода электроимпедансной миографии» 447
Ихлов Б. Л. «Деструкция РНК covid-19 и ВИЧ с помощью микроволн» 500
Ихлов Б. Л. «Расширенная паспортизация генома человека» 503
Долгих А.И. «Механизмы параллельной структуры в устройствах реабилитации нижних конечностей» 508
Колосов Е.В., Рочагов А.В., Жолобов А.В. Явелов И.С. «Неинвазивные методы и средства для получения, анализа и передачи кардиомеханосигналов» 511
Дубровская Е.С., Лапшина М.А., Малкова А.Н., Лермонтов С.А. «Создание 3D сетей из живых нейронов в матрице на основе кевларовых аэрогелей» 514
Петухов С.В. д.ф.-м.н., «Генетическая биомеханика и универсальные правила стохастики геномных ДНК» 517
Киселев С.В., Фомин А.С., «Складной шестиподвижный манипулятор параллельной структуры с круговой направляющей» 520

**Математика, музыка и искусственный интеллект**

Петухов С.В., д.ф.-м.н. «Музыка и генетика: пифагорейские строи и универсалии геномных ДНК» 523
Шушарджан С.В., д.м.н. «Медико-социальные и биотехнологические ресурсы научной музыкотерапии» 526
Степанян И.В., д.б.н., Сошинский И.С. «Синтез музыкальных строёв на основе алгоритма Пифагора: параметры, свойства, закономерности» 529
Хазина Л.В. «Нейрогенетика и музыкальное творчество» 531
Гальцов Д.В., д.ф.-м.н., «О роли субъекта в музыке и физике» 534

**Вычислимость машинная и человеческая, феномен неполноты**

Целищев В.В., д.ф.н., научный руководитель Института философии и права СО РАН, «Вычислимость и невычислимость в контексте

философии математики» 537
Юрьев Р.А., к.ф.н., Институт философии и права СО РАН «Какой вид неполноты предполагается теоремами Гёделя» 540
Родин К.А., к.ф.н., Институт философии и права СО РАН «Истинность гёделева предложения для машины Тьюринга» 543
Хлебалин А.В., к.ф.н., Институт философии и права СО РАН «Вычислимость человеческая и машинная: сопоставления» 546
Моисеева А.Ю., к.ф.н., Институт философии и права СО РАН «Эпистемологические версии тезиса А. Чёрча». 549
Санджаков А.А., к.ф.н., Институт философии и права СО РАН «Направления критики аргумента Лукаса». 552
Габрусенко К.А., Философский факультет ТГУ «Знание о собственной непротиворечивости машиной и человеком». 555

**Нейросетевые аспекты искусственного интеллекта**
Малинецкий Г.Г. , д.ф.-м.н, зав отделом ИПМ им. М.В. Келдыша РАН "Образование и ChatGPT" 558
Смолин В.С., науч. сотрудник ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Соколов С. М. д.ф.-м.н, зав сектором ФИЦ ИПМ им. М.В. Келдыща РАН "Выделение простых компонент на основе нейросетевой нелинейной композиции". 561
Войцехович В.Э., д-р филос. н., профессор ТвГУ «Способен ли нейросетевой ИИ "дорасти" до СИИ" ?» 564

**Легенды мировой и отечественной науки**
Любимов А.П., доктор юр. наук, проф., «Жорес Алферов - легенда мировой науки» 567
Марков В.В., д.ф.-м.н., «Седов Леонид Иванович и Математический институт им. В.А.Стеклова» 570
Петухов С.В. д.ф.-м.н., «Юрий Иванович Манин сопредседатель Международного междисциплинарного семинара Алгебраическая биология и теория систем» 730
Музафаров В.М. д.ф.-м.н., «Юрий Михайлович Широков как человек и ученый» 733

**Логика и Искусственный интеллект**
Атаева О.М., Серебряков В.А., Тучкова Н.П. «О построении графа знаний научной предметной области в семантической библиотеке» 736
Гончаров С.С. «Логические и вычислительные аспекты искусственного интеллекта в семантическом моделировании»
Марченко М.А. «Объяснимый искусственный интеллект: проблемы,

вопросы и приложения»

Михайловский Н.Э. «Три определения меры знания»

Нечесов А.В. «О трех проблемах доверительного искусственного интеллекта»

Huang Joshua Zhexue «Non-MapReduce computing for intelligent analysis of Big Data»

Ilić Stepić A., Ognjanović Z. «A formalization of Cognitive behavioral therapy in logic based on modal reasoning»

Veljković A.N., Mitić N.S. «BioGraph: Data framework for linking and querying diverse biological metadata»

**Задачный подход к Искусственному Интеллекту**

Болдырев И.А., Свириденко Д.И., Федин К.В., Рофе А.Р., Гриценко А.А. «Система поддержки принятия решений для волновых методов неразрушающего контроля зданий и сооружений»

Витяев Е.Е. «Задачный подход к искусственному интеллекту и теория функциональных систем работы мозга»

Гумиров В.Ш. «Цифровая трансформация с применением ИИ и информационная безопасность»

Колонин А.Г. «Модель индивидуального сознания, основанная на принципе социального доказательства и минимизации потребления ресурсов»

Манцивода А.В., Гаврилина Д.Э., Гаврилин Д.Н. «Объектные онтологии как логические хранилища данных и знаний»

Ракшун Я.В. «Задачи построения цифровых двойников для исследований в биологии и микроэлектронике»

Свириденко Д.И. «Задачный подход к построению цифрового двойника организации»

**Системная биология**

Акбердин И.Р. «Потоковое моделирование для задач биотехнологии

Афонников Д.А. «Методы глубокого машинного обучения в феномике растений»

Голубятников В.П. «Геометрия фазовых портретов одного класса генных сетей»

Дыгало Н.Н. «Нейронно-сетевые аспекты регуляции поведения»

Иванисенко В.А., Вензель А.С., Деменков П.С., Иванисенко Т.В., Антропова Е.А., Гайслер Е.В., Рогачев А.Д., Покровский А.Г., Колчанов Н.А. «Применение методов искусственного интеллекта и анализа генных сетей для интерпретации омиксных данных»

Козлов В.А. «Миграционное клеточное обеспечение нормального

функционирования иммуно-структурного гомеостаза»

Колчанов Н.А., Иванисенко В.А., Лашин С.А., Пономаренко М.П. «Сетевая организация живых систем: от генных сетей к сетям социальным»

Криворотько О.И., Кабанихин С.И., Зятьков Н.Ю. «Нейросетевое моделирование распространения COVID-19 с учетом социально-экономических процессов»

Лашин С.А. «Реконструкция математических моделей живых систем: проблемы и перспективы»

Пальянов А.Ю., Пальянова Н.В. «Об актуальных задачах моделирования эволюционирующих систем»

Скиба И.Р. «Осмысление методологии объектно-ориентированного программирования в контексте парадигмы сильного искусственного интеллекта»

Туркина В.А., Савина Е.А., Вишнякова Е.В., Орлова Н.Г., Орлов Ю.Л. «Компьютерная реконструкция генных сетей заболеваний: образование и онлайн-инструменты биоинформатики»

Филиппов С.С., Казеннов А.М. «Использование нейронной сети AlphaFold2 для улучшения результатов белок-белкового докинга»

Chen Ming «Systems Theory, Algebraic Biology, Artificial Intelligence: Mathematical foundations and applications»

Djapic V. PneumoScreener: «AI based tool for automatic detection of anomalies from Chest XR and CT images»

Milovanović M. «Time and consciousness in intuitionism»

Nersisyan S., Hovhannisyan A., Hyussyan A., Hakobyan S., Avagyan S., Jordan F., Arakelyan A.A., Mayilyan K.R. «The Lack of Systems Biology In-between the HLA-C and COVID-19 Severity»

Shtark M.B. «Neural networks and their interactive reconstruction (fMRI - EEG research)»

Кодиров Ш.Ш. Кирпичев В.Э. «Применение технологий и инструментов искуссвенного интеллекта в распознавании и прогнозировании лесных пожаров Российской Федерации»

**Форум "Сознание: от постановки проблем к математическим моделям"**

Ушаков В.Л., к.б.н., доцент, Институт перспективных исследований мозга МГУ им. М.В. Ломоносова «Подходы к построению архитектур нейросетей головного мозга в когнитивных процессах»

Яхно В.Г., д.ф.-м.н., ИПФ РАН, Нижний Новгород, «Базовые модели» стали инструментом для описания поведения живых систем?»

Юматов Е.А. НИИ Нормальной Физиологии имени П.К. Анохина,

Москва, «Методология познания психической деятельности мозга»

Чернавский А.В. ИППИ РАН, Москва, Россия, «Заметки о Естественном Интеллекте»

Chernigovskaya T.V. Saint Petersburg State University, Institute for Cognitive Research, Russia «Language and Mind: Not Algorithms Only».

Васюков В.Л. Институт философии, Москва, «Логические модели сознания и самосознания»

Быльева Д. С. СПбПУ, Санкт-Петербург, Россия «Формула языка»

Винник Д.В., д.ф.н., Финансовый университет при Правительстве РФ «О методах изучения экономического поведения приматов»

**Феномен инсайта с точки зрения психологии, нейробиологии и физиологии, возможности моделирования**

Lyazgin S.A., Institute of Economic Strategies, Moscow, Russia, «The nature of phenomenal human abilities»

Ардисламов В.В., РАНХиГС, Россия, «Семантическая дистанция и синтаксический прайминг в русскоязычных задачах CRA»

Владимиров И.Ю. (ИП РАН, Москва, Россия), Лазарева Н.Ю.(ЯрГУ, Ярославль, Россия), «Фиксированность – тёмная сторона инсайта. Серия экспериментальных исследований»

Коровкин С.Ю., Падалка Ю.А. (ЯрГУ, Ярославль, Россия) «Инсайтность решения как фактор запоминания решения задачи»

Медынцев А.А. (ИП РАН, Москва, Россия) «Акцептор Будущего Решения — комплексная модель механизмов продуктивного мышления»

Морошкина Н.В., Аммалайнен А.В., Гершкович В.А., Львова О.В., Павлючик Е.И., Савина А.И. СПбГУ, Санкт-Петербург, «Субъективная оценка трудности задачи до и после инсайтного решения»

Спиридонов В. Ф. РАНХиГС, Москва, Россия, «Комплексный характер инсайтного решения: можем ли мы идентифицировать его состав?»

Новиков Н.Ю. ФГУП «ВНИИФТРИ», Москва, Россия «Шкала эвристик, интуитивных предпочтений и ожиданий - элемент многомерных информационных шкал искусственного интеллекта»

**Вопросы фундаментальной физиологии и медицины**

Островский М.А. академик РАН, «Механизм генерации, передачи и обработки зрительного (фоторецепторного) сигнала в сетчатке глаза»

Умрюхин А.Е., д.м.н., «Алгоритмы поведения человека: может ли искусственный сильный интеллект быть лишён ограничений человеческого»

Полетаева И.И. «Когнитивные способности животных – успешная

селекция мышей на признак «неисчезаемость»

Машарипов Р.С., Князева И.С., Коротков А.Д., Киреев М.В. «Методы построения функционального коннектома мозга человека»

Снежин А.Н. «Строение искусственного суперинтеллекта»

Горкин А.Г. «Мозг, психофизиологическая проблема, искусственный интеллект»

Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Косарева К.В., Сушкова Л.Т. Владимирский государственный университет, Владимир, Россия «Решения для общедоступного скрининга сердечно-сосудистых заболеваний»

**Симпозиум "Функциональные системы", посвященный 125-летию со дня рождения П.К. Анохина**

Муртазина Е.П., к.м.н., Перцов С.С. чл.-корр. РАН, проф. РАН, д.м.н., «Системные аспекты взаимодействия людей и субъектов с искусственным интеллектом»

Ковалева А.В. к.б.н., Крикленко Е.А., Лихоманова Е.Н. «Кардиореспираторные взаимодействия при выполнении человеком заданий разного уровня сложности»

Каратыгин Н.А. к.б.н., Коробейникова И.И. к.б.н., Перцов С.С. чл.-корр. РАН, проф. РАН, д.м.н., «Влияние ритмически организованной оптической стимуляции на спектрально-пространственные характеристики α-диапазона ээг человека при выполнении когнитивной задачи»

Клименко А.В. к.м.н., Перцов С.С. чл.-корр. РАН, проф. РАН, д.м.н., Яковенко И.Ю проф. д.б.н., «Физиологическая цена высокорезультативного целенаправленного поведения у людей с различными психофизиологическими характеристиками на модели эндохирургического тренинга»

Бабанов Н.Д. к.б.н., Кубряк О.В. д.б.н. «Особенности сенсомоторной деятельности человека в экзоскелете»

Аристов В.В., Кубряк О.В. д.б.н., Степанян И.В. «Поиск новых методов анализа ЭЭГ с использованием разномасштабных кольцевых структур»

**Химическая физика строения вещества и биопроцессов**

Туманов В.Е., к.х.н., (МОМК, Ногинск, ИПХФ РАН, Черноголовка, Россия) «Энергия диссоциации S-H- связей при 298 К»

Осыченко А.А., А.Д. Залесский А.Д., Мартиросян Д.Ю., Точило У.А., Надточенко В.А. ФИЦ химической физики им Н.Н.Семенова РАН, «Применение фемтосекундного лазера ближнего инфракрасного

диапазона для биомедицинских технологий»

Nadtochenko V.A., prof., Cherepanov D.A., Aybush A.V., Gostev F.E. , Shelaev I.V., Mamedov M.D., Semenov A.Yu. FRC Chemical Physics RAS, «Primary photophysical and photochemical processes in photosynthesis: a femtosecond spectroscopy study»

Разников В.В. (Филиал ФИЦ ХФ им. Н.Н. Семёнова РАН в г. Черноголовке, Московская область,Россия), Разникова М.О. (ФИЦ ПХФ и МХ РАН г. Черноголовка Московской области, Россия) «Выявление и характеризация пространственных структурных компонент биомолекул по масс-спектрам их дейтерозамещённых многозарядных ионов при электрораспылении анализируемых растворов»

Masalskii N.V., SRISA RAS, Moscow, Russia, «Compact high-sensitivity sensor for biomedical applications»

**Резонансы ДНК (SD-DNA)**

Ихлов Б.Л., к.ф.-м.н., "Деструкция РНК вирусов с помощью микроволн"

Рempель М.В., к.б.н., "Параллельность пуриновых последовательностей ДНК в нуклеосомах и структурные модели водной оболочки ДНК".

Зырянова Н.В., к.б.н., "Структурирование водных растворов под влиянием олигомеров ДНК и влияние электромагнитных полей на живые структуры"

Петухов С.В., д.ф.-м.н., "Резонансные взаимодействия в биосистемах и универсальные правила стохастической организации геномных ДНК"

Ирэн Цезарь «Нелокальная ДНК-волновая оптика для дистанционной биоголографии»

Ричард Алан Миллер, доктор философии. «Современная физика и биологическая резонансная сигнализация» Грантс-Пасс, Орегон, США

Макс Рempель, доктор философии, «Параллелизм слоев воды и оснований ДНК: раскрытие происхождения кристаллизации многослойной структуры воды и ее влияние на динамику хроматина», Сан-Диего, США

Глен Рейн, доктор философии. «Экологические реакции ДНК человека, контролируемые с помощью спектроскопии диэлектрического импеданса», США.

Матти Питканен «Взгляд TGD на квантовую биологию и понятие морфогенетического поля»

Диего Лучио Рапопорт Камподонико, доктор философии. «Логофизика бутылки Клейна и сверхдуальный онтопоэзис: единство

разума и пространственно-временных физико-химико-биологических организаций»

Энтони Фуччионе «Электродинамика клеточного цикла. Биоэлектромагнитные поля», США

Мелких А. "Взаимодействия ДНК и белков: нерешенные вопросы"

Колтовой Н. "Влияние электромагнитного поля на ДНК"

Котковский С. «Золото-комплексное сечение. Принцип кососимметрического сопряжения. Дуальные поля»

Панчелюга В.А., к.ф.-м.н., "О системном значении универсального спектра периодов"

Мякишев-Ремпель М.В., к.б.н. "Проверка гипотезы о резонансах ДНК при помощи вычислительной геномики. Раковые мутации предпочтительно избегают попадания в электронные провода в ДНК"

**Применение технологий искусственного интеллекта для профилактической медицины и здоровьесбережения**

Кобринский Б.А., д.м.н., «Подходы к созданию интеллектуальной системы контроля состояния операторов критической инфраструктуры»

Благосклонов Н.А., Берсенев Е.Ю., к.б.н., Воропаева Я.В., «Донитова В.В. Интеллектуальная рекомендательная система по здоровьесбережению»

Молодченков А.И., к.т.н., Николаев А.А., Пальчевский А.И., Лукин А.В. «Технология построения баз знаний на основе неоднородных семантических сетей для создания интеллектуальных систем (на примере ИИ-Гиппократ)»

Коровин Я.С., к.т.н., «Технологии дистанционного мониторинга психоэмоцинального состояния операторов критической инфраструктуры»

Петрова В.В., к.м.н., Шулепов П.А., «Медико-биологическая основа модели цифрового медицинского профиля»

Сенько О.В., д.ф.-м.н., Матвеев И.А., д.т.н., Кузнецова А.В. «Системы полностью значимых интерпретируемых моделей в биомедицинских исследованиях с использованием технологий искусственного интеллекта»

Ениколопов С.Н., к.пс.н., Кузнецова Ю.М., к.пс.н., Чудова Н.В., к.пс.н., Чуганская А.А., к.пс.н., «Перспективы развития инструментов автоматического распознавания тревожных и депрессивных состояний у пользователей социальных сетей»

Смирнов И.В. «Технологии интеллектуального анализа текстов на основе разноуровневой обработки естественного языка»

Станкевич М.А., «Выявление признаков психического

неблагополучия по данным социальных сетей»

Жебель В.В., д.м.н., Зубарев Д.В., к.ф.-м.н., Девяткин Д.А., к.ф.-м.н., Соченков И.В., к.ф.-м.н., «Методы кросс-языкового выявления тематически близких и связанных документов в системах научно-технического поиска»

**Инженерная проблематика, МИА и РИА секция**

Qin Yong, prof., (Beijing Jiaotong University, Beijing, China), «Interdisciplinary integration intelligence for rail traffic operation and safety»

Будадин О.Н., д.т.н., Федотов М.Ю. к.т.н., Козельская С.О. «Элементы искусственного интеллекта в системах комплексной диагностики полимерных композитных материалов и конструкций»

XiaoSong Zhang, prof., (University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, China) «Addressing AI-driven global cybersecurity challenges with artificial intelligence»

Дин Чжимин, Российская Инженерная Академия, «AIOT Spatial-Temporal Data Management and Data Intelligence"»

Поляков В.Ю., д.т.н., «Искусственный интеллект в междисциплинарных проблемах транспортного строительства»

**Агропромышленный комплекс и сельский социум: аграрные системы, сельскохозяйственное машиностроение, искусственный интеллект**

Лачуга Ю.Ф., академик РАН, Дорохов А.С. академик РАН «Возможности современных подходов в искусственном интеллекте для прорывных технологий в сельскохозяйственном производстве»

Казакевич П.П., академик РАН (Минск) «Автоматизированная сортировка яблок системой технического зрения с искусственной нейронной сетью глубокого обучения»

Альт В.В., академик РАН (Новосибирск) «Информационные технологии в сельском хозяйстве»

Федоренко В.Ф., академик РАН «Альтернативные инновационные решения технико-технологического обеспечения обработки и повышения плодородия корнеобитаемых горизонтов почвы»

Шогенов Ю.Х. академик РАН «Моделирование бегущих электрических импульсов в проводящей системе высшего растения»

Глинушкин А.П., академик РАН «Применение систем интеллектуального мониторинга и раннего оповещения в борьбе с фитофторозом картофеля»

Габитов И.И., д-р техн. наук (Уфа) «Интеллектуализация технического сервиса машин в АПК»

Годжаев З.А., чл.-корр. РАН «Разработка и создание адаптивных, агрофильных ходовых систем сельскохозяйственных мобильных энергосредств с применением элементов»

Брюханов А.Ю., чл.-корр. РАН (Санкт-Петербург) «Интеллектуальная аналитическая программная платформа для проактивного управления экологической безопасностью агроэкосистем»

Цой Ю.А., чл.-корр. РАН «Энергетическая конверсия и цифровизация аграрного производства»

Ростовцев Р.А., чл.-корр. РАН; Диченский А.В., канд. с.-х. наук «Разработка концепции информационно-аналитической системы производства продукции растениеводства»

Кирсанов В.В., чл.-корр. РАН «Применение систем искусственного интеллекта для управления локальными биомашсистемами в молочном животноводстве»

Бакач Н.Г., Азаренко В.В., Голдыбан В.В. «Техническое зрение для автоматической идентификации и отделения некондиционных клубней картофеля»

Катаев Ю.В., Костомахин М.Н., Пестряков Е.В. «Использование технологий нейронных сетей для контроля технического состояния энергонасыщеных тракторов»

Комлач Д. И., Юрин А.Н., Воробей А.С. «Автоматизированная сортировка клубней картофеля по внешним дефектам системой технического зрения с искусственной нейронной сетью глубокого обучения»

Смирнов И.Г. «Применение технологий искусственного интеллекта в садоводстве»

Старовойтов С.И. «Система управления почвообрабатывающими машинами с активными рабочими органами на основе машинного зрения и нейронной сети»

Цой Ю.А., Кирсанов В.В., Передня В.И. «Искусственный интеллект и направления его использования в сельскохозяйственных процессах»

Дорохов А.С., Аксенов А.Г., Сибирёв А.В. «Робототехническая система оптической оценки функционального состояния биологических объектов»

Будников Д.А. «Применение компьютерного моделирования и машинного обучения в качестве методов обоснования параметров СВЧ-конвективных установок для эффективной переработки зерна и семян»

Лобачевский Я.П., Курбанов Р.К., Захарова Н.И. «Беспилотные воздушные суда как инструмент цифровой трансформации сельского хозяйства»

Слинко Д.Б., Чавдаров А.В. «Роботизированный комплекс плазменно-порошковой наплавки деталей типа “вал”»

Федоренко В.Ф., Аристов Э.Г. «Альтернативная концепция повышения экологической безопасности применения средств химической защиты растений и продовольственной безопасности»

Беневоленский С.Б., Кирьянов А.А. «Особенности программного обеспечения агроробота с системой машинного зрения и модулем искусственного интеллекта»

Виноградов А.В. «Концепция повышения надёжности электроснабжения сельских потребителей и качества поставляемой им электроэнергии средствами цифровой трансформации электрических сетей 0,4-10 кВ»

Федоренко В.Ф., Иванов А.Б. «Повышение энергоэффективности машинно-тракторных агрегатов с использованием интеллектуальной телеметрической системы»

Сайфутдинова З., Каспранов И., Бельцова С., Мелентьева Н. «Пасека как модель рационального природопользования»

Савченкова И.П. «Церебральные органоиды как новые экспериментальные модели для изучения раннего развития мозга на молекулярном, клеточном, структурном и функциональном уровнях in vitro»

Солдатенко А.В., Домблидес А.С., «Биотехнология, цифровизация и быстрая селекция овощных культур»

**Искусственный интеллект: теория и практика**

Грибова В.В., д.т.н., чл.-корр. РАН «Онтологические инфраструктуры для создания интеллектуальных систем»

Атаева О.М., к.т.н., Серебряков В.А., д.ф.-м.н., Тучкова Н.П. к.ф.-м.н., О построении графа знаний научной предметной области в семантической библиотеке

Борисов В.В., д.т.н., Жарков А.П., д.т.н., «Анализ и многомерное прогнозирование состояния сложных систем и проблемных ситуаций на основе нечетких темпоральных онтологических и когнитивных моделей»

Прокопенко С.А., д.т.н., Мисник А.Е., к.т.н., «Темпоральные нейро-нечеткие сети Петри для моделирования и управления сложными процессами в условиях неопределенности

Виноградов Г.П., д.т.н., «Информационные технологии на основе моделей искусственного интеллекта в соединениях вооруженных сил»

Благосклонов Н.А., Кобринский Б.А., д.м.н., «Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в диагностике орфанных болезней»

Забежайло М.И., д.т.н., «К проблеме устойчивости результатов

интеллектуального анализа пополняемых наборов данных»

Палюх Б.В., д.т.н., Иванов В.К., к.т.н., Модели и методы совместного использования функций доверия и нечетких нейронных сетей для диагностики многостадийных технологических процессов

Смородинов А.Д., Рассадин А.А., Гавриленко Т.В., Галкин В.А. Визуальный корреляционный анализ данных на основе искусственных нейронных сетей

Михеенкова М.А., д.т.н. «Формализация познавательной деятельности в социальных науках»

Малыхина Г.Ф., д.т.н., «Модельно-ориентированное проектирование информационно-измерительных систем, использующих рекуррентные нейронные сети»

**Искусственный интеллект в средствах измерений**

Пронин А.Н., Сапожникова К.В., Тайманов Р.Е., ГНЦ ФГУП ВНИИМ им. Д.И. Менделеева «Перспективы применения искусственного интеллекта в измерительных системах и проблемы стандартизации в этой сфере»

Будкин Ю.В., ФГБУ Институт стандартизации, «Применение методов машинного обучения для повышения точности оценки свойств материалов по результатам косвенных измерений»

Кузин А.Ю., Крошкин А.Н., ФГБУ ВНИИМС, «Практические аспекты применения нейросетевых технологий в средствах измерений и измерительных системах»

Морозов В.П., Лебединский И.Ю., Шапошникова Ю.С., ООО НАИС, «Перспективы и опыт использования искусственного интеллекта в метрологии для определения метрологической надежности автомобильных и вагонных весов»

Прокопчина С.В., ФГБОУ ВО Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, «Байесовские технологии в измерительных системах с искусственным интеллектом»

Малыхина Г.Ф. ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, «Модельно-ориентированное проектирование информационно-измерительных систем, использующих рекуррентные нейронные сети»

Шестаков А.Л., Синицин В.В., Ибряева О.Л. ФГАОУ ВО Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), «Методы искусственного интеллекта в диагностике прокатного производства»

Кашапов А.А., Костюков Д.С. АНО ВО Университет Иннополис, «Применение искусственного интеллекта в области неразрушающего

контроля»

Лаврентьев А.Б., Воронцов А.М., Федотов А. А., Выголов О.В. АО Лаборатория Касперского, «Нейроморфная система машинного зрения для энергоэффективного измерения быстрых процессов»

**Право и искусственный интеллект**

Кучеров И.И., д.ю.н., Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации «Искусственный интеллект: угрозы и риски через призму права»;

Ястребов О.А., д.ю.н., д.э.н., Российский университет дружбы народов «Правовое понимание искусственного интеллекта»;

Wang Xiumei Dr. & Professor of Law at Beijing Normal University Vice-president of International Association of Penal Law Director of G20 Research Center on Cooperation Regarding Persons Sought for Corruption and Asset Recovery in G20 Member States «Traditional Criminal Law Categories And AI in China»;

Синицын С.А., д.ю.н., Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации «Искусственный интеллект: конвергенция технического и правового мировоззрения»;

Курбанов Рашад Афатович, д.ю.н., Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова «Актуальные вопросы частно-правового регулирования искусственного интеллекта: современный опыт и перспективы развития»;

Hu Ling, associate professor Peking University Law School «Recommendation Algorithm Regulation under Platform Subcontracting Regime in China»;

Южаков В.Н., д. филос. н., Ефремов А.А., д.ю.н., Центр технологий государственного управления Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации «Что должен уметь искусственный интеллект для успешной борьбы с коррупциогенностью законодательства?»;

Минбалеев А.В., д.ю.н., Московский государственный юридический университет им. О.Е. Кутафина «Проблемы и перспективы принятия закона об искусственном интеллекте»;

Xue Zhang, Postdoctoral Researcher, Law School of Beijing Normal «University AI-related Offences in the Criminal Law of the PRC»;

Морозов А.В., д.ю.н, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова «Кибернетические и организационно-правовые основы деятельности систем искусственного интеллекта»;

Трунцевский Ю.В., д.ю.н., Институт законодательства и

сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации «Искусственный интеллект в правоприменении»;

Мехтиев М.Г., к.ю.н., Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве Российской Федерации «Регулирование искусственного интеллекта в законодательствах зарубежных стран».

**Искусственный интеллект и цифровая трансформация государственного управления**

Глазьев С.Ю., академик РАН «Стратегическое планирование и искусственный интеллект»

Макаров В.Л., заместитель председателя НСМИИ РАН, академик РАН, «Цифровая платформа сети информационных центров как основа цифровой трансформации»

Бахтизин А.Р., член-корреспондент РАН «Инструменты цифровой трансформации»

Петрунин Ю.Ю. д.ф.н. «Государственное управление и искусственный интеллект: история и современность»

Кудина М.В., д.э.н., зам. декана факультета государственного управления МГУ имени М.В. Ломоносова «Цифровые технологии в управлении человеческим капиталом»

Андреюк Д.С. «Культурный код и векторизация смыслов: разработка количественных инструментов для анализа угроз национальной идентичности со стороны ИИ»

Першуткин С.Н. «О необходимости новой методики прогнозирования на принципах асимметрии»

Маджумаев М.М., к.ю.н., РУДН, "Высокотехнологичные средства и орудия преступления: Технология Deepfake"

**Философско-методологические основания искусственного интеллекта и когнитивных исследований**

Алексеев А.Ю., д.ф.н., координатор научных программ НСМИИ РАН «Основные вопросы философии искусственного интеллекта»

Михайлов И.Ф., д.ф.н. «Фаллибилизм как основа рациональности: философские импликации для естественного и искусственного интеллекта»

Аршинов В.И., член НСМИИ РАН, д.ф.н., Институт философии РАН, «Сложностный искусственный интеллект»

15-10 Хлебалин А.В., к.ф.н., Институт философии и права СО РАН «Вычислимость человеческая и машинная: сопоставления» (зал ИЦиГ СО РАН, секции 1 и 3)

Сергеев С.Ф., д.пс.н., (Санкт-Петербургский государственный

университет) председатель Санкт-Петербургского регионального отделения НСМИИ РАН «Антропоморфная технопроекция в искусственном интеллекте»

Барышников П.Н., д.ф.н., ФГБОУ ВО "Пятигорский государственный университет", «Вычислительные машины, тело и разум: метафорические истоки механистического компьютационализма»

Зайкова А.С., кандидат философских наук (Институт философии и права Сибирского отделения РАН) «Новая B-теория как основная теория времени для систем искусственного интеллекта»

Катречко С.Л., кандидат философских наук, (ГАУГН) «Трансцендентализм и искусственный интеллект»

Ткаченко В.В., Филипеня О.Л. (Минск) «Информационный аспект методологии философии»

**Проблемы преподавания искусственного интеллекта**

Семенов А.Л., академик РАН, «Образование расширенной личности века искусственного интеллекта»

Савченкова Е.А., к.ю.н., "Правовое регулирование использования ИИ в образовании"

Беликова К.М., д.ю.н., Проверка научных текстов, созданных предположительно с помощью нейросетей: проблемы доверия результатам"

Туманов В.Е., к.х.н., "Энергия диссоциации S-H- связей при 298 К"

Смольянинова В.А., к.т.н., Смирнов С.С., МИРЭА «Курс Искусственного интеллекта и теории систем Л.С.Болотовой».

**Методологические аспекты прогнозирования**

Рябчикова Н. А., д.б.н., МГУ им.Ломоносова, «Искусственный интеллект в оценке когнитивных функций мозга»

Годарев-Лозовский М.Г. «Прогноз концептуального решения в будущем первой проблемы Д. Гильберта»

Королёв А. Д., к.ф.н., «Роль виртуалистики в прогнозировании научно-технического прогресса»

Елхова О.И., д.ф.н., Кудряшев А.Ф., д.ф.н., «Особенности предвидения в эволюционной модели искусственного интеллекта»

Сапунов В.Б., д.б.н, «Биоиндикационные методы в предсказании природных и антропогенных катастроф»

Савостьянов Г.А., д.б.н., «О новой теории разделения труда и прогнозирования развития организмов и сообществ»

Алтаев Н. К., к.х.м., «О прогностических возможностях основополагающих идей научной философии Декарта»

Войцехович В.Э., д.ф.н., проф. ТвГУ, «Возможные фундаментальные прорывы в науке 21 в.

Емельянов А. Н., к.б.н., «Утиный тест, как методология обмана в прогностике»

Першуткин С.Н., доктор соц. наук, «О необходимости новой методики прогнозирования на принципах асимметрии»

Полуян П.В., к.ф.н., «Прогнозирование на основе обработки текстов на естественных языках (база данных как цифровой двойник текста)»

Тетенков Н. Б., к.ф.н., «Социальное прогнозирование»

Фалько В. И., к.ф.н., «Виртуальная реальность в темпорологии и прогностике. Парадокс предсказания научного открытия: пути разрешения»

Ксендзук А.В., д.т.н., МИРЭА "Статистическая устойчивость нейросетей в задачах прогнозирования"

***Материалы Конгресса - Congress materials - 大會材料*** XX

*Организация секций Конгресса, Organization of Congress sections 大會各部分的組織*

*Решения Конгресса , Congressional decisions , 國會決定*

Авторский указатель - Author index - 作者索引 XX