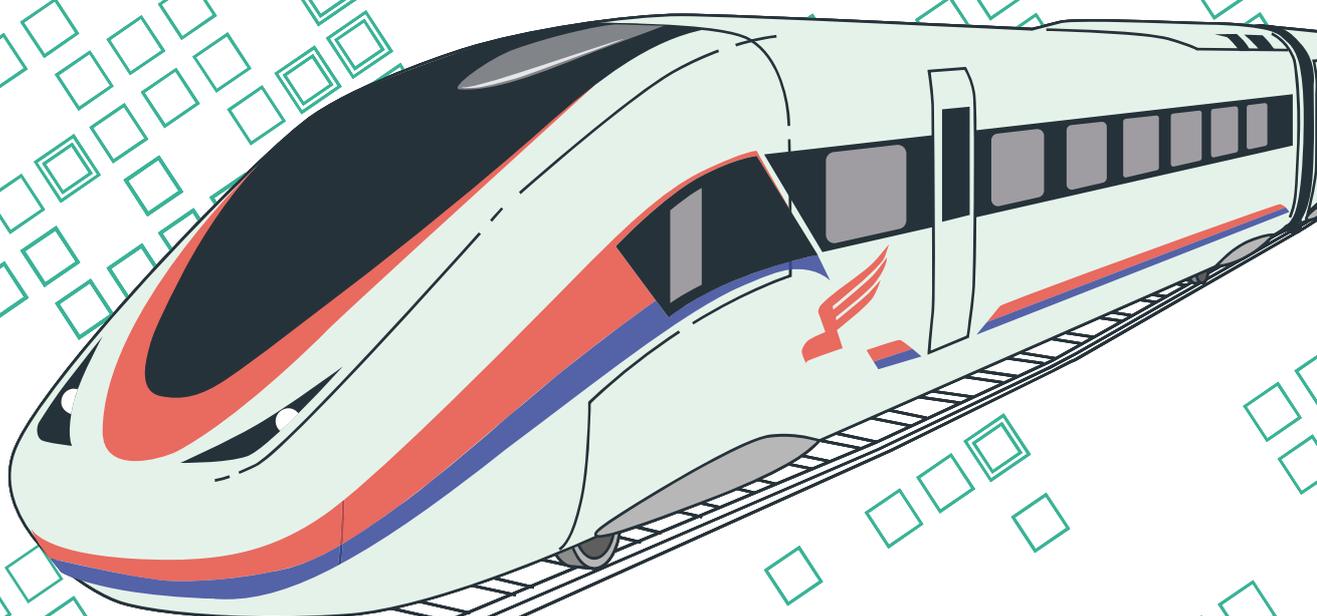


Интеллектуальные технологии на транспорте

Intellectual Technologies
on Transport



Выпуск 4
2024

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ
(сетевой электронный научный журнал)
Выпуск 4 (40), 2024
ISSN 2413-2527

Сетевой электронный научный журнал, свободно распространяемый через интернет. Публикуются статьи на русском и английском языках с результатами исследований и практических достижений в области интеллектуальных технологий и сопутствующих им научных исследований. Журнал основан в 2015 году.

Учредитель

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС).

Издатель

ООО «Медиа-Сервис» по договору № ЭА00271 от 19.12.2023.

Периодичность выхода — 4 номера в год.

Адрес редакции:

190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9
e-mail: itt-pgups@yandex.ru
Телефон: +7 (812) 457-86-06

Сетевое издание «Интеллектуальные технологии на транспорте (сетевой электронный научный журнал), Intellectual Technologies on Transport» зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство Эл № ФС77-61707 от 7.05.2015.

Журнал зарегистрирован в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ).

Информация предназначена для читателей старше 12 лет.

Выпуски журнала доступны на сайте <http://itt-pgups.ru>

Хомоненко А. Д., д. т. н., проф., С.-Петербург, РФ — главный редактор

Божко Л. М., д. э. н., доц., ПГУПС, С.-Петербург, РФ — заместитель главного редактора

Баталов Д. И., к. т. н., ПГУПС, С.-Петербург, РФ — научный редактор

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Сопредседатели редакционного совета:

Валинский О. С., к. т. н., ректор ПГУПС, С.-Петербург, РФ
Чаркин Е. И., зам. гендиректора по ИТ ОАО «РЖД», Москва, РФ

Ададуров С. Е., д. т. н., проф., ВНИИЖТ, Москва, РФ

Дудин А. Н., д. ф.-м. н., проф., БГУ, Минск, Беларусь

Корниенко А. А., д. т. н., проф., ПГУПС, С.-Петербург, РФ

Макаренко С. И., д. т. н., доц., ПАО «Интелтех», С.-Петербург, РФ

Меркурьев Ю. А., Dr. Habil., проф., член Латвийской АН, РТУ, Рига, Латвия

Титова Т. С., д. т. н., проф., первый проректор ПГУПС, С.-Петербург, РФ

Юсупов Р. М., д. т. н., проф., чл.-корр. РАН, СПб ФИЦ РАН, С.-Петербург, РФ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Александрова Е. Б., д. т. н., проф., ПГУПС, С.-Петербург, РФ

Басыров А. Г., д. т. н., проф., ВКА, С.-Петербург, РФ

Безродный Б. Ф., д. т. н., проф., НИИАС, Москва, РФ

Благовещенская Е. А., д. ф.-м. н., проф., ПГУПС, С.-Петербург, РФ

Бубнов В. П., д. т. н., проф., С.-Петербург, РФ

Булавский П. Е., д. т. н., доц., ПГУПС, С.-Петербург, РФ

Василенко М. Н., д. т. н., проф., ПГУПС, С.-Петербург, РФ

Глухов А. П., д. т. н., ПГУПС, С.-Петербург, РФ

Гуда А. Н., д. т. н., проф., РГУПС, Ростов-на-Дону, РФ

Ермаков С. Г., д. т. н., проф., ПГУПС, С.-Петербург, РФ

Заборовский В. С., д. т. н., проф., СПбПУ, С.-Петербург, РФ

Канаев А. К., д. т. н., проф., ПГУПС, С.-Петербург, РФ

Котенко А. Г., д. т. н., проф., ВНИИЖТ, Москва, РФ

Куренков П. В., д. э. н., к. т. н., проф., РУТ (МИИТ), Москва, РФ

Лецкий Э. К., д. т. н., проф., РУТ (МИИТ), Москва, РФ

Наседкин О. А., к. т. н., доц., ПГУПС, С.-Петербург, РФ

Никитин А. Б., д. т. н., проф., ПГУПС, С.-Петербург, РФ

Новиков Е. А., д. т. н., доц., ВКА, С.-Петербург, РФ

Охтилев М. Ю., д. т. н., проф., НИО ЦИТ «Петрокомета», С.-Петербург, РФ

Привалов А. А., д. воен. н., проф., Академия войск национальной гвардии, С.-Петербург, РФ

Соколов Б. В., д. т. н., проф., СПб ФИЦ РАН, С.-Петербург, РФ

Таранцев А. А., д. т. н., проф., ИПТ РАН, С.-Петербург, РФ

Утепбергенов И. Т., д. т. н., проф., АУЭС, Алматы, Казахстан

Фазылов Ш. Х., д. т. н., проф., НИИ развития цифровых технологий и ИИ, Ташкент, Узбекистан

Хабаров В. И., д. т. н., проф., СГУПС, Новосибирск, РФ

Ходаковский В. А., д. т. н., проф., ПГУПС, С.-Петербург, РФ

Чехонин К. А., д. ф.-м. н., доц., ХВИЦ ДВО РАН, Хабаровск, РФ

INTELLECTUAL TECHNOLOGIES ON TRANSPORT
(Network electronic scientific journal)

Issue 4 (40), 2024

ISSN 2413-2527

Network electronic scientific journal, open access.
It publishes articles in Russian and English with the
results of research and practical achievements in the field
of intelligent technologies and associated research.
Founded in 2015.

Founder

Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education “Emperor Alexander I
St. Petersburg State Transport University”

Publisher

Media Service LLC No. EA00271,
19.12.2023

Frequency of release — 4 issues per year.

Editorial address:

190031, St. Petersburg, Moskovsky ave., 9
e-mail: itt-pgups@yandex.ru
Phone: +7 812 457 86 06

The online journal “Intellectual Technologies
on Transport” is registered by the Federal Service
for Supervision of Communications, Information
Technologies, and Mass Media.
El No. FS77-61707 Testimony from 7.05.2015.

The journal is registered in the Russian Science Citation
Index (RSCI).

The content is for readers over the age of 12.
Issues of the magazine are available at <http://itt-pgups.ru>

Khomonenko A. D., Dr. Sci. in Engineering, Prof.,
St. Petersburg, Russia — Editor-in-Chief

Bozhko L. M., As. Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia —
Deputy Editor-in-Chief

Batalov D. I., PhD in Engineering, PSTU, St. Petersburg,
Russia — Science Editor

EDITORIAL COUNCIL MEMBERS

Co-chairs of the Editorial Council:

Valinsky O. S., PhD in Engineering, rector
of PSTU, St. Petersburg, Russia

Charkin E. I., CIO of JSC “Russian Railways”, Moscow,
Russia

Adadurov S. E., Prof., VNIIZHT, Moscow, Russia

Dudin A. N., Prof., BSU, Minsk, Belarus

Kornienko A. A., Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia

Makarenko S. I., As. Prof., Inteltech, St. Petersburg, Russia

Merkuryev Yu. A., Prof., Academician of the Latvian
Academy of Sciences, RTU, Riga, Latvia

Titova T. S., Prof., First Vice-Rector PSTU, St. Petersburg,
Russia

Yusupov R. M., Prof., Corr. Member of RAS, SPC RAS,
St. Petersburg, Russia

EDITORIAL BOARD MEMBERS

Aleksandrova E. B., Prof., SPbPU, St. Petersburg, Russia

Basyrov A. G., Prof., MSA, St. Petersburg, Russia

Bezrodny B. F., Prof., NIIAS, Moscow, Russia

Blagoveshchenskaya E. A., Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia

Bubnov V. P., Prof., St. Petersburg, Russia

Bulavsky P. E., As. Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia

Vasilenko M. N., Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia

Glukhov A. P., Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia

Guda A. N., Prof., RSTU, Rostov-on-Don, Russia

Zeremov S. G., Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia

Zaborovsky V. S., Prof., SPbPU, St. Petersburg, Russia

Kanaev A. K., Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia

Kotenko A. G., Prof., VNIIZHT, Moscow, Russia

Kurenkov P. V., Prof., RUT (MIIT), Moscow, Russia

Letsky E. K., Prof., RUT (MIIT), Moscow, Russia

Nasedkin O. A., As. Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia

Nikitin A. B., Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia

Novikov E. A., As. Prof., MSA, St. Petersburg, Russia

Okhtilev M. Yu., Prof., JSC “Petrokometa”, St. Petersburg,
Russia

Privalov A. A., Prof., Academy of the National Guard Troops,
St. Petersburg, Russia

Sokolov B. V., Prof., SPC RAS, St. Petersburg, Russia

Tarantsev A. A., Prof., IPT RAS, St. Petersburg, Russia

Utepbergenov I. T., Prof., AUPET, Almaty, Kazakhstan

Fazilov Sh. X., Prof., AIRI, Tashkent, Uzbekistan

Khbarov V. I., Prof., STU, Novosibirsk, Russia

Khodakovskiy V. A., Prof., PSTU, St. Petersburg, Russia

Chekhonin K. A., Prof., Khabarovsk FRC RAS,
Khabarovsk, Russia

Содержание

Искусственный интеллект и машинное обучение

Блюм В. С., Григорьева Д. А.

Управление доступом с использованием искусственного интеллекта: возможности и риски 5

Утепбергенов И. Т., Сейдазимов С. Б.

Технологические решения для создания многоагентных систем в сфере инновационной деятельности 13

Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Басыров А. Г., Факхро Ф.

Алгоритм планирования информационного обмена на основе бортовой ресурсосберегающей предобработки данных с использованием байесовского подхода 24

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Быстрицкий Д. В., Ермаков С. Г., Баталов Д. И.

Трансформация управления данными в ОАО «РЖД» 31

Савельев М. Ф., Обухов А. В., Малахова Н. С., Воробьев Е. Г.

Метод решения задачи безопасного движения транспорта и пешеходов на основе квантовых и нейрокомпьютерных систем. 43

Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей

Хороших В. Ю., Руссу Ю. В., Надеева М. Р., Баталов Д. И.

Обзор проектов с использованием технологии программных роботов. 50

Методы и системы защиты информации, информационная безопасность

Ермаков С. Г., Ляпунов В. Е., Шефнер А., Ахмедов Х. А., Кот Н. Д.

Исследование способов диспетчеризации видео на множестве конечных устройств в контексте языка программирования Rust 59

Интеллектуальные транспортные системы

Хомоненко А. Д., Кириенко А. Б., Злобин С. Е., Давыдова Д.

Очистка полуструктурированных и неструктурированных данных дистанционного зондирования Земли 67

Памяти коллег

Юсупов Рафаэль Мидхатович 78

Гарбарук Виктор Владимирович 80

Contents

Artificial intelligence and machine learning

Blyum V.S., Grigoryeva D.A.

Access Control Using Artificial Intelligence: Opportunities and Risks 5

Utebergenov I. T., Seidazimov S. B.

Technological Solutions for Creating Multi-Agent Systems in the Field of Innovation 13

Mathematical modeling, numerical methods and software complexes

Basyrov A. G., Fakrho F.

An Algorithm for Planning Information Exchange Based on On-Board Resource-Saving Data Preprocessing
Using the Bayesian Approach. 24

System analysis, management and information processing, statistics

Bystritsky D. V., Ermakov S. G., Batalov D. I.

Transformation of Data Management in Russian Railways 31

Saveliev M. F., Obukhov A. V., Malakhova N.S., Vorobyov E. G

A Method for Solving the Problem of Safe Traffic and Pedestrians Based on Quantum
and Neurocomputer Systems 43

Mathematical and software of computer systems, complexes and computer networks

Khoroshikh V. Yu., Russu Yu. V., Nadeeva M. R., Batalov D. I.

Overview of Projects Using Software Robot Technology 50

Methods and systems of information protection, information security

Ermakov S. G., Lyapunov V. E., Shefner A., Akhmedov K. A., Kot N. D.

Investigation of Video Dispatching Methods on Multiple End Devices in the Context of the Rust
Programming Language 59

Intelligent transport systems

Khomonenko A. D., Kirienko A. B., Zlobin S. E., Davydova D.

Cleaning of Semi-Structured and Unstructured Earth Remote Sensing Data. 67

In memory of colleagues

Yusupov Rafael Midkhatovich. 78

Garbaruk Viktor Vladimirovich 80

УДК 004.056.52

Управление доступом с использованием искусственного интеллекта: возможности и риски

Блюм Владислав Станиславович — канд. техн. наук, доцент кафедры бизнес-информатики и менеджмента. Область научных интересов: иммунокомпьютинг, технологии искусственного интеллекта. E-mail: vladblum7@gmail.com

Григорьева Дарья Алексеевна — студент кафедры бизнес-информатики и менеджмента. Область научных интересов: информационные технологии. E-mail: daria_grig4221@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67

Для цитирования: Блюм В. С., Григорьева Д. А. Управление доступом с использованием искусственного интеллекта: возможности и риски // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 4 (40). С. 5–12. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-440-5-12

Аннотация. В современных условиях компаниям необходимо своевременно внедрять новые технологии и следить за выполнением требований по информационной безопасности, чтобы эффективно противостоять современным угрозам. Одним из основных инструментов, обеспечивающих должный уровень информационной безопасности на предприятии и упрощающих контроль за предоставлением доступа к ресурсам организации, являются системы управления доступом. **Основная цель:** исследовать возможности применения искусственного интеллекта для систем управления доступом, выделяя его значение в контексте повышения уровня информационной безопасности организации и эффективности управления правами доступа. **Метод исследования:** анализ современных инструментов и технологий, включая искусственный интеллект и большие языковые модели, а также оценка практических кейсов внедрения ИИ в системы управления доступом. Рассматриваются как преимущества, так и риски, связанные с автоматизацией управления доступом с использованием ИИ. **Практическая значимость:** результаты работы могут быть использованы организациями для повышения безопасности и эффективности управления доступом к информационным ресурсам. Выявленные риски и рекомендации по внедрению технологий ИИ позволят компаниям более осознанно подходить к улучшению процессов информационной безопасности.

Ключевые слова: система управления доступом, информационная безопасность, защита информации, идентификация, аутентификация, контроль прав доступа, автоматизация, ролевая модель, IDM, IAM, IGA

1.2.1 — искусственный интеллект и машинное обучение (технические науки); **2.3.6** — методы и системы защиты информации, информационная безопасность (технические науки)

Введение

В последние годы искусственный интеллект (ИИ) играет все более значимую роль в управлении различными процессами и информационными системами (ИС). Его потенциал для оптимизации, автоматизации и анализа данных меняет традици-

онные подходы к управлению бизнесом и общественными структурами. ИИ становится ключевым элементом, способным трансформировать экономику и организационные процессы, делая их более гибкими и эффективными.

ИИ влияет на управление в различных отраслях — от производства до логистики, в связи с этим становится актуальной оценка не только текущей ситуации, но и дальнейших перспектив, а также рассмотрение возможных рисков и вызовов.

Особенности и возможности искусственного интеллекта и больших языковых моделей

Основные характеристики ИИ включают в себя способность к обучению, решению проблем, распознаванию образов, пониманию языка и принятию решений [1]. Все это делает его перспективным инструментом в управленческом аппарате для организаций. Поэтому сейчас ИИ активно используется в стратегическом планировании и поддержке принятия управленческих решений, анализируя большие объемы данных и прогнозируя развитие событий. Это позволяет руководителям эффективно управлять рисками, оптимизировать ресурсы и снижать издержки. Автоматизация бизнес-процессов с помощью ИИ помогает компаниям ускорять выполнение задач и сокращать влияние человеческого фактора [2].

Появление больших языковых моделей — Large language models (LLM) значительно укрепило возможность использования ИИ для принятия стратегических решений и ускорило этот процесс. LLM представляют собой алгоритмы прогнозирования текста, созданные на основе анализа обширных

объемов текстовых данных. При обучении на достаточно крупных массивах данных сложные модели приобретают умение отвечать на вопросы, обобщать информацию и логически рассуждать.

Возможности LLM обуславливают их значимость для принятия стратегических решений с использованием ИИ по трем ключевым причинам. Во-первых, такие модели способны работать с текстовыми данными, которые часто представляют собой как входные, так и выходные данные в стратегических процессах. Во-вторых, LLM могут сравниться или даже превзойти человека в задачах, требующих аналитического мышления. В-третьих, данные, на которых обучаются LLM, включают ценную информацию, полезную для стратегического анализа: предпочтения потребителей, сведения о конкурентах и другие стратегически значимые знания [3].

Примеры практического использования искусственного интеллекта путем внедрения в информационные системы

Существуют специализированные системы для принятия решений. В качестве примера можно рассмотреть IBM Planning Analytics. Система способна анализировать большие объемы данных, выявлять тенденции и закономерности, а также предоставлять рекомендации и прогнозы [4, 5] (рис. 1).

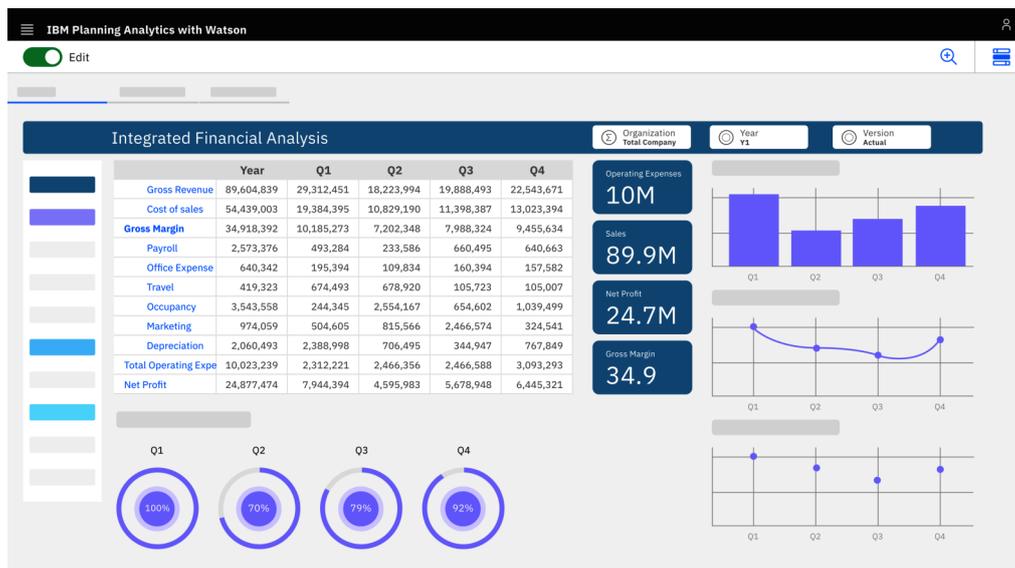


Рис. 1. Интерфейс системы IBM Planning Analytics

Известны реальные кейсы применения IBM Planning Analytics для бизнеса. Например, сегодня Vaasan использует встроенные алгоритмы планирования на основе ИИ в трех важнейших областях бизнеса: прогнозирование энергопотребления и ценообразования, анализ тенденций в центрах затрат и долгосрочное планирование продукции.

Использование аналитики планирования для прогнозирования энергопотребления помогает компании лучше планировать и согласовывать цены на энергоносители с производителями. Алгоритм учитывает внешние факторы, такие как ожидаемая температура на улице, а также производственные показатели [6].

Solar Coca-Cola поставила задачу IBM оптимизировать процессы, с помощью которых она проводила финансовое моделирование, столь важное для планирования и принятия решений в компании. Для руководства было важно сократить объемы ручной обработки массивов данных и получать быстрые решения по текущим вопросам. Сегодня компания использует модель «что, если», встроенную в IBM Planning Analytics, чтобы увидеть, как изменения во внешних факторах, влияющих на стоимость, таких как цены на сырьевые товары, налоги и обменные курсы, влияют не только на ценовую политику, но и на уровень спроса, запасы и производственные планы [7].

Искусственный интеллект в области информационной безопасности

Другой областью применения ИИ в управлении является информационная безопасность. В сфере кибербезопасности ИИ активно используется для обнаружения аномалий, предотвращения мошенничества и мгновенного реагирования на угрозы. Модели машинного обучения, анализирующие большие объемы данных, позволяют улучшить защиту организаций, однако важность прозрачности остается ключевым аспектом доверия и соблюдения норм безопасности. Раньше приблизительные ежемесячные прогнозы составлялись вручную и не приносили особой пользы компании.

В развитии технологий и информационных систем (ИС) все больше процессов в организациях

нуждаются в автоматизации. Компании сталкиваются с необходимостью управления огромным количеством пользователей, приложений и ресурсов. В условиях сложных инфраструктур с множеством уровней доступа и разнообразных политик безопасности процесс предоставления и контроля доступа становится трудоемким и подверженным ошибкам.

В крупных организациях и производствах стабильность управленческого аппарата является необходимым условием для эффективного функционирования всех процессов. В условиях цифровизации управлять нужно не только людьми, но и информационными ресурсами, которые становятся наиболее ценным активом нашего времени. Защита данных, предотвращение их утечек и несанкционированного доступа (НСД) — одни из ключевых задач современной безопасности. Именно поэтому организации все чаще внедряют специализированные ИС для обеспечения информационной безопасности (ИБ).

Процесс управления доступом включает предоставление прав пользователям, ограничение их доступа к ресурсам, контроль и мониторинг за выполнением требований безопасности. Использование ручных методов управления становится все менее эффективным из-за увеличения вероятности ошибок, задержек и угроз безопасности. Классические подходы нередко тормозят работу бизнеса и не отвечают современным стандартам кибербезопасности. Среди таких методов можно выделить использование Active Directory (AD). Данная система каталогов предоставляет возможность управлять доступом к различным ресурсам — от офисных документов до критически важных систем и баз данных. Однако изменения в бизнес-процессах и требованиях законодательства выявляют недостатки традиционного подхода к управлению через AD:

- 1) трудоемкость настройки прав доступа для пользователей;
- 2) высокий риск ошибок при ручной обработке данных;
- 3) долгие процедуры согласования прав;
- 4) ограниченная масштабируемость при росте числа ресурсов и пользователей.

В сложившихся условиях автоматизация управления доступом становится не просто удобством, а необходимостью. Системы управления доступом (СУД) представляют собой многофункциональные программные комплексы, разработанные для надежного и упрощенного контроля прав пользователей на доступ к информационным ресурсам организации. Эти системы позволяют централизованно управлять учетными записями и распределением прав доступа, а также нередко интегрируются с кадровыми системами. Существуют различные виды СУД, например, Identity Management (IDM) и Identity and Access Management (IAM), они выполняют ряд важных функций: создание и администрирование учетных записей, предоставление и аннулирование прав доступа, соблюдение требований политики безопасности и предотвращение несанкционированного использования ресурсов [8].

ИИ трансформирует подход к управлению доступом, предоставляя возможность предотвращать НСД и другие нарушения за счет автоматизированного принятия решений. В совокупности с технологиями машинного обучения он представляет собой мощный инструмент для повышения уровня автоматизации и самостоятельности в принятии решений. Внедрение ИИ особенно актуально для новейших типов СУД, таких как Identity Governance and Administration (IGA), которые обрабатывают большие объемы данных и оценивают риски.

Машинное обучение играет важную роль в управлении доступом, создавая модели стандартного поведения пользователей и ресурсов. При обнаружении отклонений, таких как вход с необычного устройства или в нестандартное время, система может оперативно реагировать, блокируя доступ или запрашивая дополнительную аутентификацию.

Кроме того, искусственный интеллект активно используется для оптимизации управления правами доступа и ролями. Анализируя текущие настройки, ИИ выявляет возможности для улучшений, предлагает оптимальные конфигурации и создает новые роли. Это позволяет минимизировать риски, связанные с избыточными приви-

легиями и конфликтами прав, что одновременно повышает безопасность и упрощает процесс администрирования.

Примеры внедрения искусственного интеллекта в системы управления доступом

Современные лидеры мирового рынка СУД активно интегрируют ИИ в свои продукты. Ярким примером такого подхода является микросервис Identity Role Intelligence от компании Oracle, представляющий решения класса IGA. Этот инструмент применяет ИИ для анализа данных и совершенствования управления правами доступа. Благодаря машинному обучению система автоматически формирует роли, которые соответствуют текущим потребностям бизнеса. Пользователи, ответственные за создание новых ролей, могут принимать решения на основе рекомендаций и аналитики от Role Intelligence, которая также сравнивает новые роли с существующими, исключая дублирование [9].

Компания Okta также разработала обширный набор функций на основе ИИ, объединенных под брендом Okta AI. Этот инструмент используется для предотвращения кибератак в таких продуктах, как Workforce Identity Cloud и Customer Identity Cloud. Okta AI включает технологии машинного обучения, которые позволяют анализировать пользовательское поведение, выявлять аномалии и автоматизировать управление доступом. В режиме реального времени система оценивает риски при входе, обнаруживает потенциальные угрозы и помогает улучшить соответствие требованиям безопасности. Кроме того, Okta AI предоставляет рекомендации по оптимизации управления учетными записями и ролями, что упрощает администрирование и повышает безопасность [10].

Российские разработчики системы управления доступом Solar inRights также наметили курс на активное внедрение ИИ в свои технологии. Планируется, что искусственный интеллект и машинное обучение будут анализировать поведение пользователей, выявлять аномалии и предотвращать конфликты обязанностей. На основании накопленных данных система сможет оптимизировать процесс

назначения ролей и прав, обрабатывать неструктурированные запросы, снижать нагрузку на администраторов и усиливать защиту системы управления доступом [11].

Таким образом, можно заключить, что внедрение ИИ в СУД открывает возможности для автоматизации, повышения безопасности и оптимизации процессов. ИИ упрощает управление правами доступа, анализирует поведение пользователей и помогает выявлять отклонения, предотвращая потенциальные угрозы. Это обеспечивает динамическую настройку доступа в зависимости от контекста и улучшает соответствие требованиям безопасности. Кроме того, использование ИИ снижает нагрузку на администраторов, ускоряет выполнение задач и повышает эффективность работы всей системы.

Риски использования искусственного интеллекта в контексте управления и контроля доступа

Внедрение ИИ в СУД, несмотря на свои преимущества, связано с рядом рисков. Один из основных — возможность ошибок в принятии решений, так как ИИ сильно зависит от качества и точности входящих данных. Неправильная информация может привести к ошибочному предоставлению прав доступа или блокировке пользователей, что нарушит рабочие процессы.

Еще одной проблемой является отсутствие прозрачности в работе алгоритмов. Многие ИИ-системы функционируют как «черные ящики», и в случае ошибок или споров трудно понять, на каких данных и принципах было основано решение. Также, если алгоритмы неправильно обучены или недостаточно адаптированы, они могут не справиться с новыми или нестандартными ситуациями, что приведет к их неправильной интерпретации и принятию неверных решений.

Помимо прочего, использование ИИ в СУД может повысить их уязвимость к кибератакам. Злоумышленники могут манипулировать данными, поступающими в систему, что может привести к ошибочным решениям и возникновению ситуаций с НСД.

Не менее важным риском является соблюдение нормативных и юридических требований. ИИ-системы могут столкнуться с проблемами, связанными с конфиденциальностью данных и правами пользователей, что создает дополнительные сложности в правовом поле. Кроме того, полная автоматизация с использованием ИИ делает организацию зависимой от технологий, и в случае сбоя системы или неадекватной работы алгоритмов могут возникнуть проблемы с доступом, что повлияет на бизнес-процессы. И наконец, ИИ может усиливать предвзятость, если алгоритмы обучаются на ошибочных или предвзятых данных, что приведет к несправедливому распределению прав доступа [12].

Контроль за использованием искусственного интеллекта на международном уровне

Сейчас многие страны находятся в активной фазе формирования правил и норм использования ИИ. Оценить, насколько эти страны эффективно используют и регулируют ИИ с точки зрения этики, защиты прав человека и других социальных факторов можно при помощи глобального индекса ответственного искусственного интеллекта — The Global Index on Responsible AI (GIRAI). Это комплексное исследование, которое оценивает, насколько страны по всему миру внедряют принципы ответственного использования ИИ.

В цели GIRAI входит установка единых глобальных стандартов для ответственного ИИ, повышение осведомленности о влиянии ИИ и измерение прогресса стран.

В первом издании 2024 года индекс охватывает 138 стран, в том числе 41 страну Африки. Оценка проводится по трем направлениям: права человека и ИИ, управление ответственным ИИ и возможности для внедрения ответственного ИИ. Эти направления оцениваются по трем аспектам: государственные документы, инициативы правительства и действия негосударственных организаций.

Данные собирались региональными исследовательскими центрами в период с 2021 по 2023 год. Для оценки использовались как первичные, так и вторичные источники данных, включая

правительственные документы, законы, отчеты и программы. Эксперты оценивали актуальные инициативы, рассматривали механизмы защиты прав человека в контексте ИИ, присутствие стратегий по управлению рисками и наличие механизмов возмещения ущерба при использовании ИИ [13].

В табл. 1 приведен список из десяти стран с самым высоким значением индекса.

Таблица 1

Ведущие страны по GIRAI

Рейтинг	Страна	Индекс
1	Нидерланды	86,16
2	Германия	82,77
3	Ирландия	74,98
4	Великобритания	73,12
5	Соединенные Штаты Америки	72,81
6	Эстония	67,61
7	Италия	61,8
8	Франция	57,62
9	Канада	57,39
10	Австралия	56,22

По данным на июнь 2024 года, первое место в международном рейтинге по ответственному ИИ занимают Нидерланды. В связи с геополитической ситуацией в мире России нет в данном списке. Однако в нашей стране формируются подобные исследования для улучшения нормативной базы по использованию ИИ [14].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Носова В. И. Искусственный интеллект в образовании // Молодой ученый. 2023. № 49 (496). С. 190–192.
- AI-Driven Decision Support Systems in Management: Enhancing Strategic Planning and Execution / S. Dodda [et al.] // International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication. 2024. Vol. 12 (1). P. 1.
- Csaszar F. A., Ketkar H., Kim H. Artificial Intelligence and Strategic Decision-Making: Evidence from Entrepreneurs and Investors. 2024.
- IBM Planning Analytics. URL: https://www.ibm.com/products/planning-analytics?lnk=STW_UK_PHP_SP4_BLK&psrc=NONE&pexp=DEF&lnk2=trial_PlanningAnalytics
- IBM Planning Analytics 2.0 URL: <https://www.ibm.com/docs/en/planning-analytics/2.0.0>
- Baking in AI and Analytics to Meet Rising Demand. URL: <https://www.ibm.com/case-studies/vaasan>
- A “Revolution” in Financial Reporting Brings Faster and Deeper Insights. URL: <https://www.ibm.com/case-studies/solar-coca-cola>

Заключение

В итоге отметим, что ИИ открывает новые возможности для решения задач по управлению доступом. Его применение позволяет ускорить процессы, снизить количество ошибок и обеспечить более гибкое управление правами пользователей. Однако, несмотря на очевидные преимущества, внедрение ИИ в СУД не лишено рисков: ошибки алгоритмов, сложности настройки и уязвимости самих систем могут стать причиной новых угроз. Чтобы реализовать все преимущества и минимизировать риски, организациям необходимо тщательно планировать внедрение ИИ в процессы управления доступом, обеспечивая адекватный контроль и прозрачность работы этих систем.

Сейчас крупные компании активно развиваются в данном направлении и в будущем использование ИИ в СУД станет неотъемлемой частью защиты данных, что делает необходимым дальнейшее изучение этой темы и разработку механизмов по устранению рисков.

В заключение можно также отметить, что ИИ продолжает изменять управление в различных отраслях, улучшая производительность и сокращая издержки. Однако его внедрение сопровождается вызовами, которые требуют продуманного подхода и ответственности. Перспективы развития ИИ в управлении остаются колоссальными, и успех будущих инициатив будет зависеть от осознания вызовов и активного поиска решений, ориентированных на долгосрочные выгоды.

8. Блюм В. С., Григорьева Д. А. Система управления доступом как современный способ обеспечения информационной безопасности в организации // Актуальные проблемы экономики и управления. 2024. № 2 (42). С. 27–33.
9. Administering Oracle Identity Role Intelligence. URL: <https://docs.oracle.com/en/middleware/idm/identity-role-intelligence/amiri/overview-oracle-identity-role-intelligence.html#GUID-3D761974-3533-4051-B939-1B45E4ACC3CD>
10. Introducing Okta AI. URL: <https://www.okta.com/products/okta-ai/>
11. Севастьянова Л. Управление доступом: развитие технологий, процессов, машинного обучения // Solar: 2024. URL: <https://rt-solar.ru/events/blog/4080/>
12. AI Hype as a Cyber Security Risk: the Moral Responsibility of Implementing Generative AI in Business / D. Humphreys [et al.] // AI Ethics. 2024. No. 4. P. 791–804.
13. Comprehensive, Comparable, Country-Level Data. URL: <https://www.global-index.ai/Countries>
14. Росстат проводит мониторинг создания и результатов применения технологий искусственного интеллекта // Союз «Одинцовская ТПП»: официальный сайт. URL: <https://odintsovo.tpprf.ru/ru/mobile/news/538587/>

Дата поступления: 24.11.2024

Решение о публикации: 24.11.2024

Access Control Using Artificial Intelligence: Opportunities and Risks

Vladislav S. Blyum

— PhD in Engineering, Associate Professor of Business Informatics and Management Department. Research interests: immunocomputing, artificial intelligence technologies. E-mail: vladblum7@gmail.com

Darya A. Grigoryeva

— Student of Business Informatics and Management Department. Research interests: information technology. E-mail: daria_grig4221@mail.ru

Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67, Bolshaya Morskaya str., 190000, St. Petersburg, Russia

For citation: Blyum V. S., Grigoryeva D. A. Access Control Using Artificial Intelligence: Opportunities and Risks // Intellectual Technologies on Transport. 2024. № 4 (40). Pp. 5–12. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-440-5-12. (In Russian)

Abstract. *In modern conditions, companies need to introduce new technologies in a timely manner and monitor compliance with information security requirements in order to effectively counter modern threats. Access control systems are one of the main tools that ensure an adequate level of information security at the enterprise and simplify control over the provision of access to the organization's resources. **The main goal:** to explore the possibilities of using artificial intelligence for access control systems, highlighting its importance in the context of increasing the level of information security of the organization and the effectiveness of access rights management. **Research method:** analysis of modern tools and technologies, including artificial intelligence and large language models, as well as assessment of practical cases of AI implementation in access control systems. Both the advantages and risks associated with automated access control using AI are considered. **Practical significance:** the results of the work can be used by organizations to improve the security and efficiency of access management to information resources. The identified risks and recommendations for the introduction of AI technologies will allow companies to take a more conscious approach to improving information security processes.*

Keywords: access control system, information security, information protection, identification, authentication, access rights control, automation, role model, IDM, IAM, IGA

REFERENCES

1. Nosova V. I. *Iskusstvennyj intellekt v obrazovanii* // *Molodoj uchenyj*. 2023. № 49(496). S. 190–192. (In Russian)
2. AI-Driven Decision Support Systems in Management: Enhancing Strategic Planning and Execution / S. Dodda [et al.] // *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*. 2024. Vol. 12(1). P. 1.
3. Csaszar F. A., Ketkar H., Kim H. *Artificial Intelligence and Strategic Decision-Making: Evidence from Entrepreneurs and Investors*. 2024.
4. IBM Planning Analytics. URL: https://www.ibm.com/products/planning-analytics?lnk=STW_UK_PHP_SP4_BLK&psrc=NONE&pexp=DEF&lnk2=trial_PlanningAnalytics
5. IBM Planning Analytics 2.0 URL: <https://www.ibm.com/docs/en/planning-analytics/2.0.0>
6. Baking in AI and Analytics to Meet Rising Demand. URL: <https://www.ibm.com/case-studies/vaasan>
7. A “Revolution” in Financial Reporting Brings Faster and Deeper Insights. URL: <https://www.ibm.com/case-studies/solar-coca-cola>
8. Blyum V. S., Grigor’eva D. A. *Sistema upravleniya dostupom kak sovremennyyj sposob obespecheniya informacionnoj bezopasnosti v organizacii* // *Aktual’nye problemy ekonomiki i upravleniya*. 2024. No. 2(42). S. 27–33. (In Russian)
9. Administering Oracle Identity Role Intelligence. URL: <https://docs.oracle.com/en/middleware/idm/identity-role-intelligence/amiri/overview-oracle-identity-role-intelligence.html#GUID-3D761974-3533-4051-B939-1B45E4ACC3CD>
10. Introducing Okta AI. URL: <https://www.okta.com/products/okta-ai/>
11. Sevast’yanova L. *Upravlenie dostupom: razvitie tekhnologij, processov, mashinnogo obucheniya* // *Solar*: 2024. URL: <https://rt-solar.ru/events/blog/4080/> (In Russian)
12. AI Hype as a Cyber Security Risk: the Moral Responsibility of Implementing Generative AI in Business / D. Humphreys [et al.] // *AI Ethics*. 2024. № 4. S. 791–804.
13. Comprehensive, Comparable, Country-Level Data. URL: <https://www.global-index.ai/Countries>
14. Rosstat provodit monitoring sozdaniya i rezul’tatov primeneniya tekhnologij iskusstvennogo intellekta // Soyuz “Odincovskaya TPP”: oficial’nyj sajt. URL: <https://odintsovo.tpprf.ru/ru/mobile/news/538587/> (In Russian)

Received: 24.11.2024

Accepted: 24.11.2024

УДК 65.01

Технологические решения для создания многоагентных систем в сфере инновационной деятельности

Утепбергенов Ирбулат Туремуратович — докт. техн. наук, профессор, профессор-исследователь кафедры «Автоматизация и управление». Область научных интересов: информационные системы, обработка больших данных, моделирование надежности. E-mail: i.utepbergenov@aes.kz

Сейдазимов Сырым Байболулы — магистр, старший преподаватель кафедры «IT-инженерия и искусственный интеллект». Область научных интересов: информационные системы, интеллектуальные системы управления, многоагентные системы, искусственный интеллект. E-mail: s.seidazimov@aes.kz

Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Республика Казахстан, 050013, Алматы, ул. А. Байтурсынова, 126

Для цитирования: Утепбергенов И. Т., Сейдазимов С. Б. Технологические решения для создания многоагентных систем в сфере инновационной деятельности // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 4 (40). С. 13–23. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-440-13-23

Аннотация. В условиях стремительного развития науки и технологий традиционные методы перестают быть эффективными, что требует более интеллектуальных и адаптивных решений для управления и обработки информации. В статье исследуются и анализируются многоагентные системы (МАС), их роль и значимость в сфере инновационной деятельности. **Цель:** систематизация технологических решений, применяемых при разработке многоагентных систем в инновационной деятельности, а также оценка их воздействия на эффективность инновационных процессов. **Результат и новизна:** проведен анализ архитектурных и алгоритмических подходов к разработке МАС, изучены современные программные и аппаратные решения, включая интернет вещей (IoT) и облачные платформы. Освещаются новаторские аспекты в интеграции МАС с физическими устройствами, что расширяет их функциональные возможности. **Практическая значимость:** рассмотренные технологические решения поддерживают практическое применение МАС в различных областях — от управления проектами до оптимизации научно-исследовательских процессов. Реализация МАС способствует улучшению координации и распределению ресурсов, что особенно актуально в условиях высокой динамики и неопределенности инновационной среды. **Обсуждение:** подчеркивается, что разработка МАС сталкивается с проблемами сложной архитектуры и вычислительных затрат. Выделяется важность выбора подходящей платформы разработки (например, JADE, SPADE, NetLogo) в зависимости от нужд проекта. Акцентируется роль облачных технологий и IoT в будущем развитии многоагентных систем.

Ключевые слова: многоагентные системы, распределенные системы, интеллектуальные агенты, облачные технологии, интернет вещей, машинное обучение, визуализация, автоматизация, искусственный интеллект

1.2.1 — искусственный интеллект и машинное обучение (технические науки); **2.3.5** — математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей (технические науки)

Введение

Современные вызовы в области науки, технологий и инноваций требуют новых подходов к организации и управлению процессами. В условиях постоянного роста объема данных, увеличения сложности задач и ускорения технологических изменений традиционные методы перестают быть эффективными. Необходимы решения, которые обеспечивают автоматизацию, адаптивность и интеллектуальность в обработке информации и выполнении сложных задач. Одной из таких перспективных технологий являются многоагентные системы (МАС).

Многоагентные системы представляют собой архитектуру, состоящую из множества автономных программных компонентов, называемых агентами, которые взаимодействуют между собой для достижения общей цели. Каждый агент обладает определенной степенью автономии, способен к обучению, адаптации и принятию решений. Такие системы находят широкое применение в задачах моделирования, автоматизации процессов, управления ресурсами и решения сложных проблем, где требуется координация множества независимых элементов [1].

В сфере инновационной деятельности, характеризующейся высокой динамикой и неопределенностью, особенно выгодно использовать потенциал многоагентных систем. Например, МАС могут применяться для управления исследовательскими проектами, распределения ресурсов, оптимизации научных экспериментов и прогнозирования результатов инноваций. Использование таких систем позволяет значительно повысить эффективность работы, снизить риски и ускорить реализацию проектов [2].

Основой создания многоагентных систем служат современные технологические решения, такие как алгоритмы искусственного интеллекта, распределенные вычисления, технологии интернета вещей (Internet of Things, IoT), облачные платформы и базы данных. Эти инструменты обеспечивают разработку систем, способных функционировать в реальном времени, обрабатывать большие объемы данных, интегрировать разнородные ис-

точники информации и адаптироваться к изменяющимся условиям.

Целью данной статьи является анализ существующих технологических решений, применяемых для создания многоагентных систем в сфере инновационной деятельности. Будут рассмотрены ключевые аспекты разработки таких систем, включая архитектурные подходы, алгоритмическое обеспечение, используемые инструменты и платформы. Проведена оценка влияния МАС на эффективность информационного обеспечения инновационных процессов и перспективы их дальнейшего развития.

Определение многоагентных систем

Многоагентные системы представляют собой программные или аппаратные системы, состоящие из множества взаимодействующих автономных агентов, которые совместно решают задачи в динамичных и распределенных средах.

Основные характеристики МАС включают:

- автономность агентов, что позволяет им принимать собственные решения;
- взаимодействие, обеспечивающее координацию действий;
- адаптивность, позволяющую реагировать на изменения среды;
- обучаемость, благодаря которой агенты совершенствуют свои действия на основе накопленного опыта [3].

Архитектуры МАС варьируются от иерархических, где агенты подчиняются центральному узлу, до распределенных, где отсутствует единый центр управления, а взаимодействие происходит по горизонтальной схеме. Для разработки таких систем используются платформы и языки программирования, такие как JADE, Python и NetLogo, которые предоставляют инструменты для управления агентами, симуляции их взаимодействий и визуализации работы системы [4].

Облачные технологии играют важную роль, предоставляя масштабируемую инфраструктуру для обработки данных и координации агентов, а интернет вещей и распределенные вычисления

расширяют возможности МАС, обеспечивая их интеграцию с физическими устройствами и удаленными ресурсами. В инновационной деятельности МАС используются для автоматизации управления проектами, оптимизации научных экспериментов, распределения ресурсов, моделирования инновационных процессов и прогнозирования. Например, платформы вроде CoLab и Simulink применяются для координации научных исследований и моделирования сложных систем, тогда как умные энергосети и системы управления проектами в R&D-отделах демонстрируют их практическую пользу. Таким образом, МАС стали ключевым инструментом в решении сложных задач, требующих координации, распределения ресурсов и анализа данных, что делает их неотъемлемой частью современной инновационной деятельности [5].

Многоагентные системы обладают ключевыми характеристиками, такими как автономность, взаимодействие, адаптивность и обучаемость, что делает их эффективным инструментом для решения сложных задач в условиях неопределенности и динамики. Агенты в МАС могут действовать независимо, обмениваться данными и адаптироваться к изменениям, используя машинное обучение для повышения эффективности. Преимущества МАС включают гибкость, масштабируемость, децентрализованность и способность решать сложные задачи, но они также сталкиваются с ограничениями, такими как высокая сложность разработки, конфликты интересов и вычислительные затраты. Выбор архитектуры системы, будь то иерархическая, гомогенная, гетерогенная, централизованная или распределенная, зависит от требований и среды работы, обеспечивая баланс между производительностью и сложностью реализации [6].

Современные инструменты разработки МАС включают платформы JADE, NetLogo и языки программирования, такие как Python, с использованием облачных технологий, интернета вещей и распределенных вычислений. Эти технологии обеспечивают масштабируемость, доступность и интеграцию агентов с физическими устройствами и другими системами. Например, JADE предлагает стандартизированное взаимодействие аген-

тов, Python поддерживает машинное обучение, а облачные платформы, такие как AWS (Amazon Web Services), Google Cloud и Microsoft Azure, предоставляют ресурсы для масштабируемых решений. IoT и распределенные вычисления усиливают возможности МАС, расширяя их применение в умных домах, производственных процессах и системах анализа данных [7].

Применение МАС в инновационной деятельности охватывает автоматизацию управления проектами, оптимизацию научных экспериментов и моделирование процессов. Такие системы, как CoLab и Simulink Agent-Based Modeling, помогают распределять задачи, координировать участников и прогнозировать результаты. В энергетике МАС используются для управления интеллектуальными сетями, а в инновационных проектах — для автоматизации взаимодействия стартапов, инвесторов и менторов. Эти примеры демонстрируют, как МАС ускоряют разработку технологий, повышают эффективность и улучшают принятие решений в научной и бизнес-среде [8].

Сравнительный анализ платформ и технологий для разработки многоагентных систем

Разработка многоагентных систем требует использования специализированных инструментов и технологий, которые обеспечивают гибкость, производительность и возможность масштабирования. Рассмотрим наиболее популярные платформы для разработки МАС — JADE, SPADE, и NetLogo, а также их сравнительные преимущества, недостатки и применимость в различных сценариях.

JADE (Java Agent Development Framework) — одна из наиболее зрелых платформ для разработки многоагентных систем, построенная на языке Java и соответствующая стандартам FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents), что обеспечивает совместимость с другими агентными системами и поддержку стандартных протоколов коммуникации (рис. 1). Платформа отличается масштабируемостью, позволяя создавать крупные распределенные системы с высокой нагрузкой, а также

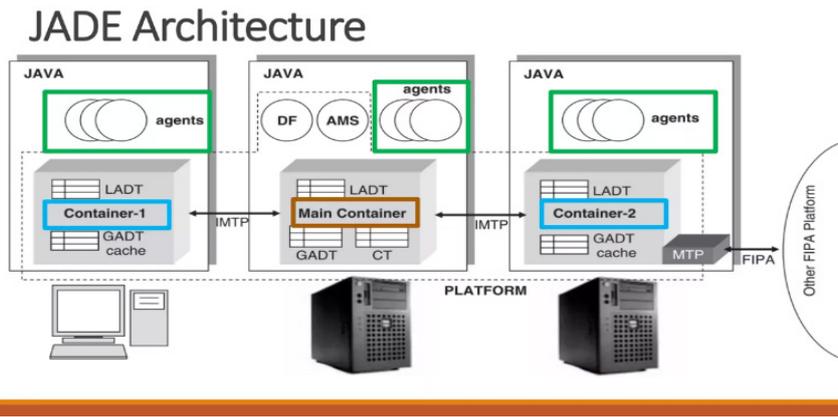


Рис. 1. Архитектура JADE. Источник: Java Agent Development Framework: Why Does Your SaaS Product Need it? 26 June 2024. URL: <http://www.azilen.com/blog/java-agent-development-framework> (дата обращения: 24.11.2024)

интеграцией с Java-экосистемой, включая базы данных и веб-сервисы, что делает ее надежной для коммерческих проектов и научных исследований. Однако ее использование требует глубоких знаний Java, что усложняет работу для новичков, а процесс прототипирования сравнительно медленнее, чем у Python-ориентированных платформ. JADE активно применяется для управления транспортными системами в реальном времени, автоматизации бизнес-процессов и симуляции сложных сценариев взаимодействия агентов [9, 10].

SPADE (Smart Python Agent Development Environment) — платформа для разработки многоагентных систем на языке Python, известном своей простотой и широким сообществом разработчиков, что ускоряет процесс прототипирования и делает разработку интуитивно понятной (рис. 2).

Платформа поддерживает интеграцию с популярными библиотеками машинного обучения, такими как TensorFlow и PyTorch, что позволяет создавать интеллектуальных агентов, а также обеспечивает кросс-платформенность, работая на различных операционных системах. Однако производительность Python уступает Java, что может быть критичным для систем с высокой нагрузкой, а документация SPADE менее обширна по сравнению с JADE. Платформа используется для разработки интеллектуальных ассистентов, систем мониторинга и анализа данных в реальном времени, а также для моделирования поведения агентов в социально-экономических системах [10–12].

NetLogo — высокоуровневая среда для моделирования многоагентных систем, ориентированная на визуализацию и простоту использования, что

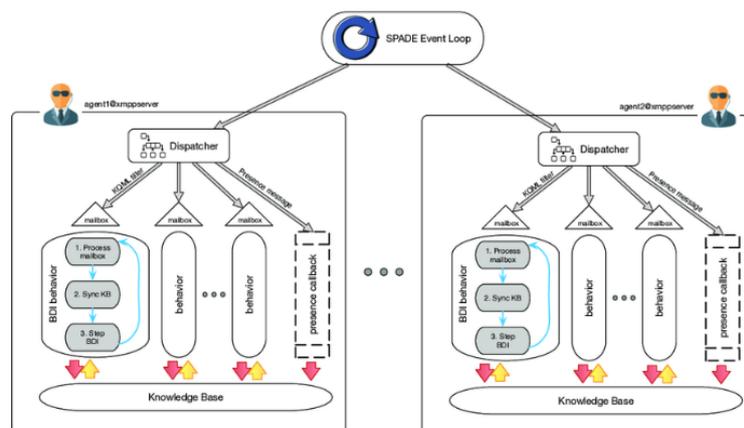


Рис. 2. Гибкая архитектура агентов в SPADE. Источник: Palanca J., et al. Flexible Agent Architecture: Mixing Reactive and Deliberative Behaviors in SPADE // Electronics. 2023. Vol. 12, Is. 3. Art. No. 659. 18 p. DOI: 10.3390/electronics12030659

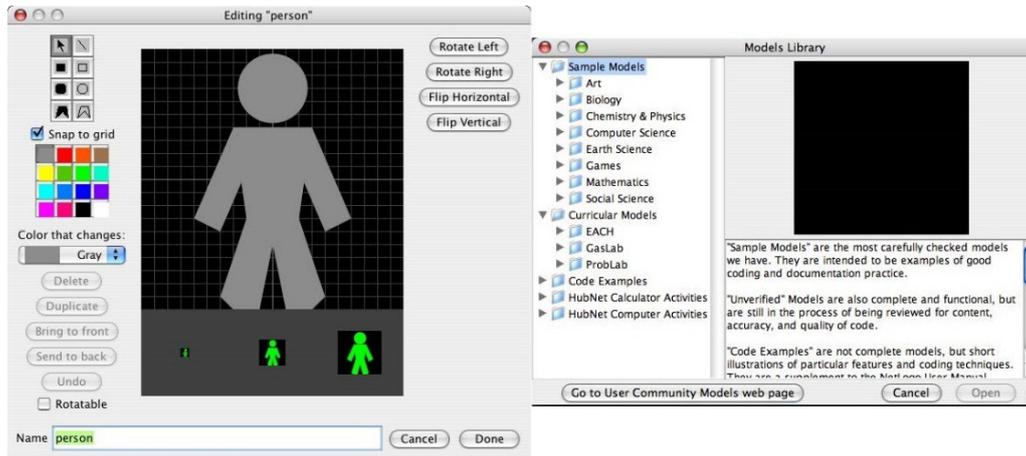


Рис. 3. NetLogo: проектирование и реализация многоагентной среды моделирования. Источник: Tisue S., Wilensky, U. NetLogo: Design and Implementation of a Multi-Agent Modeling Environment // Proceedings of the Agent 2004 Conference on Social Dynamics: Interaction, Reflexivity and Emergence (Chicago, IL, USA, 07–09 October 2004). Updated 2013. 20 p.

делает ее популярной в образовательных и научных целях для изучения сложных систем (рис. 3). Она особенно подходит для пользователей без глубоких технических знаний благодаря интуитивному интерфейсу и встроенным инструментам для создания наглядных симуляций поведения агентов. Платформа активно используется в академической среде для обучения основам работы с MAC. Однако ее возможности ограничены, что делает ее неподходящей для разработки сложных распределенных систем, а низкая производительность препятствует применению в высоконагруженных сценариях. NetLogo находит применение в моделировании экологических систем, изучении поведения животных или групп людей, а также в анализе социальных взаимодействий и их последствий [7].

Современные многоагентные системы активно используют облачные технологии и интернет ве-

щей для повышения эффективности и масштабируемости. Облачные платформы, такие как AWS, Google Cloud, Microsoft Azure и Яндекс.Облако, предоставляют мощные инструменты для развертывания распределенных систем, выполнения сложных вычислений, обработки больших данных и интеграции с аналитическими инструментами и машинным обучением (табл. 1). Взаимодействие с устройствами IoT открывает возможности для управления физическими объектами, такими как умные дома и транспортные системы, позволяя моделировать сложные сценарии и автоматизировать процессы [11].

Выбор платформы зависит от конкретных задач и ограничений проекта. Для создания масштабируемых систем лучше использовать JADE. Если требуется быстрый прототип или интеграция с искусственным интеллектом, предпочтение стоит отдать SPADE. Для образовательных и научных

Таблица 1

Сравнительный обзор технологий

Платформа	Преимущества	Недостатки	Применение
JADE	Надежность, масштабируемость, поддержка стандартов	Сложность разработки, зависимость от Java	Крупные коммерческие проекты
SPADE	Простота, интеграция с AI, кроссплатформенность	Низкая производительность, ограниченная документация	Научные и аналитические системы
NetLogo	Простота, визуализация, образовательная направленность	Ограниченные возможности, низкая производительность	Образование и исследования

симуляций лучшим выбором будет NetLogo. Дополнительно использование облачных технологий и IoT позволяет значительно расширить возможности каждой из платформ, обеспечивая гибкость, масштабируемость и надежность.

При создании следующего прототипа был использован язык программирования C#, однако для разработки мультиагентных систем может быть выбран любой язык, соответствующий требованиям проекта и поддерживающий эту концепцию.

Многоагентные системы удобны при работе над задачей, не выполнимой для одного агента или интерактивного ПО.

Агент — комплексная программа, имеющая «собственное видение» окружающей среды, определенное границами его дозволенности. Интерактивное ПО — программное обеспечение, созданное с целью выполнения спектра задач, при наличии пользователя. Основным отличием агентов от интерактивного ПО является возможность первых «самостоятельно принимать решение», без непосредственного руководства.

Разработанная в данной работе многоагентная система состоит из менеджера и четырех различных агентов:

1. Менеджер агентов регулирует работу прочих агентов, предоставляет информацию об окружающей среде, открывает доступ к ней, а также позволяет дополнить ее пользовательскими данными (рис. 4).

2. Агент-Исследователь предоставляет информацию о себе, которая включает список опре-

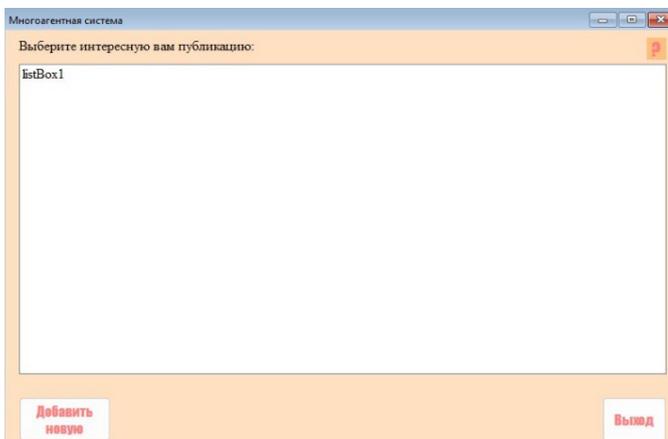


Рис. 4. Менеджер агентов и Агент-Исследователь

деленных публикаций, теги данных публикаций и позволяет выбрать одну из них для дальнейшей работы прочих агентов.

3. Агент-Анализатор является «мозгом» многоагентной системы. Включает в себя рабочую нейросеть, главной функцией которой является расчет приоритета одних публикаций над другими, в качестве критерия используется количество подходящих тегов.

Нейронная сеть, вызываемая посредством создания топологии, где есть входные нейроны, скрытые нейроны и выходной нейрон, получает информацию о сходимости статей. Она обучается на их данных и определяет выходные приоритетности каждой статьи (рис. 5).

Поиск наиболее подходящих по запросу источников (или на основе последней просмотренной статьи) осуществляется с помощью тегово-преференсной системы. Преференс (англ. preference — предпочтение) — целочисленный параметр, определяющий степень схожести статей. Изначально приоритет равен нулю, но после вызова метода поиска значения с помощью нейросети значения преференса меняются в зависимости от количества совпадающих тегов. Чем больше значение преференса, тем ближе статья по смыслу к текущей. Далее осуществляется сортировка по преференсу, от большего к меньшему. Выводятся две статьи по убыванию преференса.

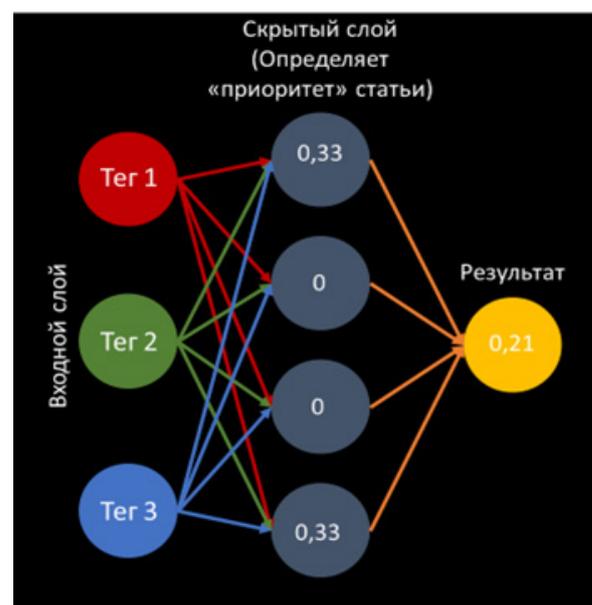


Рис. 5. Схема нейронной сети

После рабочего цикла Агент-Анализатор выдает название двух статей и передает их Агенту-Рекомендателю (рис. 6).

4. Агент-Рекомендатель создает рекомендации на основе информации, полученной от Агента-Анализатора. Позволяет перевыбрать рекомендации в том случае, если пользователь не удовлетворен текущими.

5. Агент-Уведомитель отображает две рекомендации, отобранные Агентом-Рекомендателем. Также отображает выбранную пользователем публикацию, как и каждую впоследствии.

Данная агентная система рассчитана для поддержки исследовательской деятельности, а именно поиска рекомендаций на основе выбранной публикации. При этом содержание, тематика и направленность данных публикаций могут быть разнообразными.

Входные данные

Во время работы программа требует от пользователя выбрать доступные публикации, а также выбрать одну (рис. 7, 8).

Выходные данные

Результаты работы Менеджера агентов и Агента-Исследователя изображены на рис. 9.

Эффективность внедрения многоагентной системы в сфере информационного обеспечения инновационной деятельности может значительно варьироваться в зависимости от структуры базы данных, используемого программного обеспечения. Тем не менее на основе предыдущих исследований и реализованных проектов приведем ориентировочные числовые значения ожидаемых улучшений. В табл. 2 приведены численные значения улучшений,

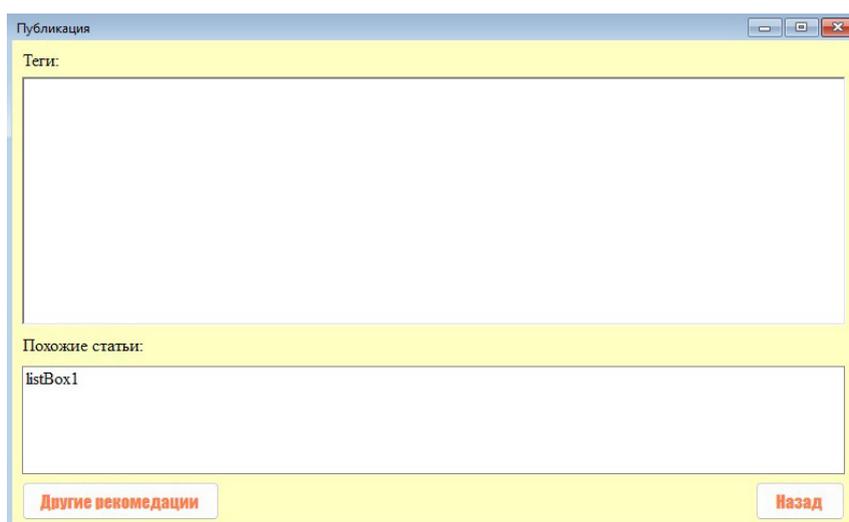


Рис. 6. Агент-Уведомитель и Агент-Рекомендатель

Таблица 2

Значения улучшений в сфере поиска релевантных запросу источников

№	Показатель	Улучшение (%)
1	Предоставление информации об окружающей среде (предметной области)	10–15
2	Возможности получения полного списка публикаций	20–25
3	Повышение точности поиска	20–25
4	Снижение затрат времени	20–30
5	Возможности автоматизации добавления новых источников	30–40

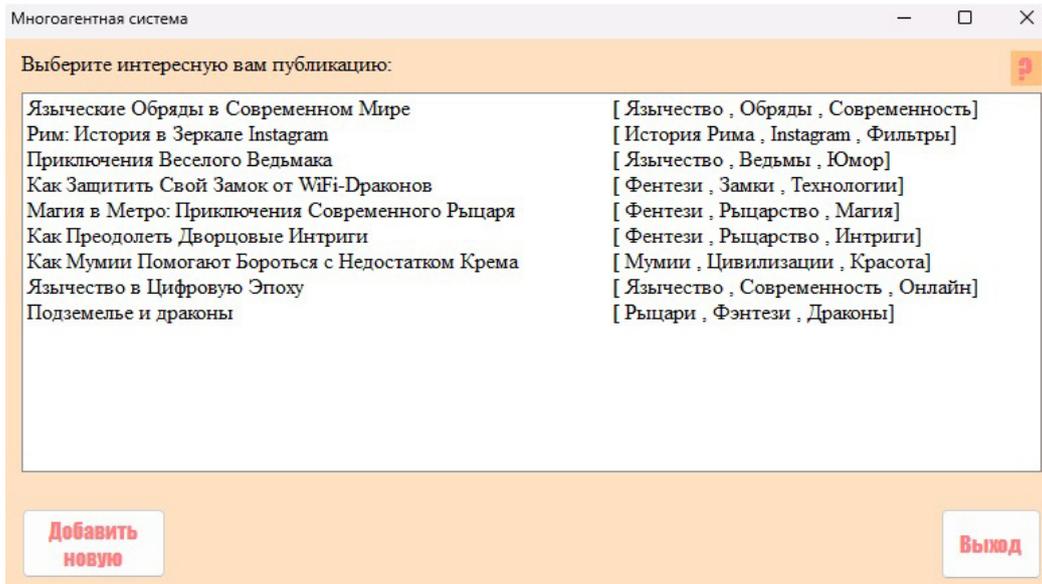


Рис. 7. Главная форма со всем спектром доступных публикаций



Рис. 8. Форма создания новых пользовательских публикаций

достигнутые на основе внедрения многоагентных систем в управление энергосетями.

Эти данные предоставляют общий ориентир относительно выигрыша от применения MAC в подобных задачах.

Заключение

Многоагентные системы представляют собой перспективное направление в развитии информационных технологий, находя применение в различных областях — от автоматизации биз-

нес-процессов до моделирования сложных социальных и экологических систем. Рассмотренные платформы, такие как JADE, SPADE и NetLogo, демонстрируют разнообразие подходов к разработке MAC, от высокопроизводительных решений для крупных распределенных систем до простых инструментов для образовательных целей и визуализации.

Современные технологии, включая облачные вычисления и интернет вещей, усиливают возможности MAC, обеспечивая их интеграцию

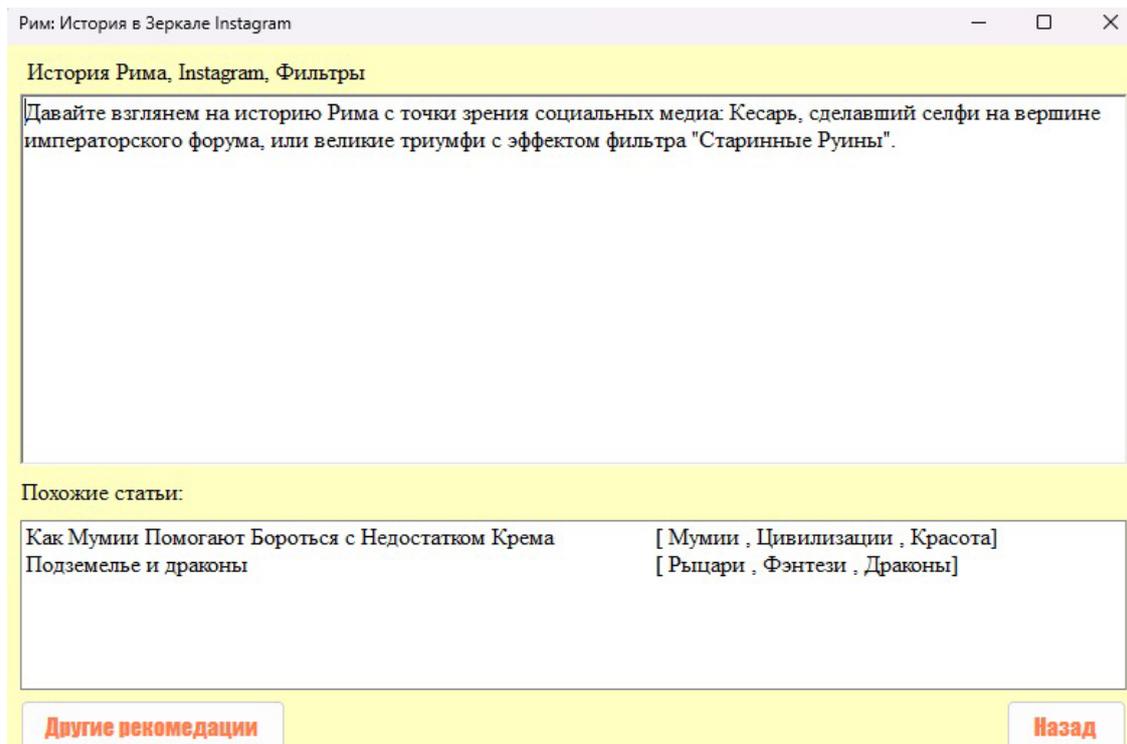


Рис. 9. Агент-Уведомитель с рекомендациями

с физическими устройствами, обработку больших данных и поддержку интеллектуальных алгоритмов. Однако выбор конкретной платформы или технологии зависит от задач проекта, уровня подготовки разработчиков и требований к производительности системы.

Таким образом, развитие МАС и их интеграция с передовыми технологиями открывают новые горизонты для научных исследований и прикладных решений, способствуя созданию интеллектуальных систем, способных адаптироваться к сложным и динамичным условиям современного мира.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bellifemine F., Caire G., Greenwood D. Developing Multi-Agent Systems with JADE. Chichester: Wiley, 2007. 304 p.
2. Russell S. J., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th ed. Hoboken (NJ): Pearson, 2020. 1136 p.
3. Wooldridge M. J. An Introduction to MultiAgent Systems. 2nd ed. Chichester: Wiley, 2009. 488 p.
4. Bordini R. H., Hübner J. F., Wooldridge M. Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak Using Jason. Chichester: Wiley, 2007. 304 p.
5. Абрамов В. И., Евдокимов Д. С. Разработка комплекса агент-ориентированных моделей системы государственных закупок стран Евразийского континента // Проблемы теории и практики управления. 2019. № 1. С. 15–23.

6. Диагностика неустойчивых когнитивных состояний активных агентов / П. П. Дьячук [и др.] // Нейроинформатика-2016: сборник трудов XVIII Всероссийской научно-технической конференции (Москва, 25–29 апреля 2016 г.): в 3 ч. Ч. 1. М.: НИЯУ МИФИ, 2016. С. 259–270.
7. Компьютерное ситуационное моделирование в управлении экономикой / В. Л. Макаров [и др.] // Государственный аудит. Право. Экономика. 2017. № 3–4. С. 31–40.
8. R&D Subsidization Effect and Network Centralization: Evidence from an Agent-Based Micro-Policy Simulation / P. Angelini [et al.] // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2017. Vol. 20, iss. 4. Art. No. 4. 22 p. DOI: 10.18564/jasss.3494
9. Гладков Л. А., Гладкова Н. В. Возможности управления знаниями на основе гибридных интеллектуальных методов // Открытое образование. 2013. № 6(101). С. 60–64.
10. The Peer Review Game: An Agent-Based Model of Scientists Facing Resource Constraints and Institutional Pressures / F. Bianchi [et al.]. 2018. Vol. 116, iss. 3. P. 1401–1420. DOI: 10.1007/s11192-018-2825-4
11. Использование мультиагентных технологий для прогнозирования и идентификации процесса обучения / Е. А. Назойкин [и др.] // Пищевая промышленность. 2015. № 6. С. 36–39.
12. Neves F., Campos P., Silva S. Innovation and Employment: An Agent-Based Approach // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2019. Vol. 22, iss. 1. Art. No. 8. 32 p. DOI: 10.18564/jasss.3933

Дата поступления: 03.12.2024

Решение о публикации: 19.12.2024

Technological Solutions for Creating Multi-Agent Systems in the Field of Innovation

- Irbulat T. Utepbergenov** — Grand PhD in Engineering Sciences, Professor, Research-Professor, Automation and Control Department. Research interests: information systems, big data processing, reliability modelling. E-mail: i.utepbergenov@aues.kz
- Syrym B. Seidazimov** — Master of Engineering Science, Senior lecturer of the IT-Engineering and Artificial Intelligence Department. Research interests: information systems, intelligent control systems, multi-agent systems, artificial intelligence. E-mail: s.seidazimov@aues.kz

Almaty University of Power Engineering and Telecommunication named Gumarbek Daukeev, 126, A. Baitursynov str., Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan

For citation: Utepbergenov I.T., Seidazimov S.B. Technological Solutions for Creating Multi-Agent Systems in the Field of Innovation // Intellectual Technologies on Transport. 2024. № 4 (40). Pp. 13–23. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-440-13-23. (In Russian)

Abstract. *In the context of the rapid development of science and technology, traditional methods are no longer effective, which requires more intelligent and adaptive solutions for information management and processing. The article explores and analyzes multi-agent systems (MAS), their role and importance in the field of innovation. **Objective:** systematization of technological solutions used in the development of multi-agent systems in innovation activities, as well as assessment of their impact on the effectiveness of innovation processes. **Result and novelty:** an analysis of architectural and algorithmic approaches to MAC development was carried out, modern software and hardware solutions, including the Internet of Things (IoT) and cloud platforms, were*

studied. Innovative aspects in the integration of MAC with physical devices are highlighted, which expands their functionality. **Practical significance:** the considered technological solutions support the practical application of MAC in various fields: from project management to optimization of research processes. The implementation of the IAU contributes to improved coordination and allocation of resources, which is especially important in conditions of high dynamics and uncertainty of the innovation environment. **Discussion:** It is emphasized that MAC development faces the challenges of complex architecture and computational costs. The importance of choosing a suitable development platform (for example, JADE, SPADE, NetLogo) is highlighted, depending on the needs of the project. The role of cloud technologies and IoT in the future development of multi-agent systems is emphasized.

Keywords: multi-agent systems, distributed systems, intelligent agents, cloud technologies, Internet of Things, machine learning, visualization, automation, artificial intelligence

REFERENCES

1. Bellifemine F., Caire G., Greenwood D. Developing Multi-Agent Systems with JADE. Chichester: Wiley, 2007. 304 p.
2. Russell S. J., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4th ed. Hoboken (NJ): Pearson, 2020. 1136 p.
3. Wooldridge M. J. An Introduction to MultiAgent Systems. 2nd ed. Chichester: Wiley, 2009. 488 p.
4. Bordini R. H., Hübner J. F., Wooldridge M. Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak Using Jason. Chichester: Wiley, 2007. 304 p.
5. Abramov V. I., Evdokimov D. S. Razrabotka kompleksa agent-orientirovannykh modelej sistemy gosudarstvennykh zakupok stran Evrazijskogo kontinenta // Problemy teorii i praktiki upravleniya. 2019. No. 1. S. 15–23. (In Russian)
6. Diagnostika neustojchivyykh kognitivnykh sostoyanij aktivnykh agentov / P. P. D'yachuk [i dr.] // Nejroinformatika-2016: sbornik trudov XVIII Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii (Moskva, 25–29 aprelya 2016 g.): v 3 ch. Ch. 1. M.: NIYAU MIFI, 2016. S. 259–270. (In Russian)
7. Komp'yuternoe situacionnoe modelirovanie v upravlenii ekonomikoj / V. L. Makarov [i dr.] // Gosudarstvennyj audit. Pravo. Ekonomika. 2017. No. 3–4. S. 31–40. (In Russian)
8. R&D Subsidization Effect and Network Centralization: Evidence from an Agent-Based Micro-Policy Simulation / P. Angelini [et al.] // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2017. Vol. 20, iss. 4. Art. No. 4. 22 p. DOI: 10.18564/jasss.3494
9. Gladkov L. A., Gladkova N. V. Vozmozhnosti upravleniya znaniyami na osnove gibridnykh intellektual'nykh metodov // Otkrytoe obrazovanie. 2013. No. 6(101). C. 60–64. (In Russian)
10. The Peer Review Game: An Agent-Based Model of Scientists Facing Resource Constraints and Institutional Pressures / F. Bianchi [et al.]. 2018. Vol. 116, iss. 3. P. 1401–1420. DOI: 10.1007/s11192-018-2825-4
11. Ispol'zovanie mul'tiagentnykh tekhnologij dlya prognozirovaniya i identifikacii processa obucheniya / E. A. Nazojkin [i dr.] // Pishchevaya promyshlennost'. 2015. No. 6. S. 36–39. (In Russian)
12. Neves F., Campos P., Silva S. Innovation and Employment: An Agent-Based Approach // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2019. Vol. 22, iss. 1. Art. No. 8. 32 p. DOI: 10.18564/jasss.3933

Received: 03.12.2024

Accepted: 19.12.2024

УДК 004.021

Алгоритм планирования информационного обмена на основе бортовой ресурсосберегающей предобработки данных с использованием байесовского подхода

Басыров Александр Геннадьевич — докт. техн. наук, профессор, профессор кафедры информационно-вычислительных систем и сетей. E-mail: alexanderbas@mail.ru

Факхро Файруз — адъюнкт кафедры информационно-вычислительных систем и сетей. E-mail: fairouzarussia@gmail.com

Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, Россия, 197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13

Для цитирования: Басыров А. Г., Факхро Ф. Алгоритм планирования информационного обмена на основе бортовой ресурсосберегающей предобработки данных с использованием байесовского подхода // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 4 (40). С. 24–30. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-440-24-30

Аннотация. Представлено обоснование, содержание и исследование алгоритма планирования ресурсосберегающего информационного обмена в условиях априорной неопределенности качества передаваемых данных. Приведена постановка задачи планирования информационного обмена с учетом анализа качества данных. Отражены результаты имитационного моделирования процессов информационного обмена с использованием рассматриваемого алгоритма. Предложенный алгоритм может быть использован для организации передачи данных в распределенных информационных системах реального времени при ограниченных энерго-временных ресурсах.

Ключевые слова: информационный обмен, априорная неопределенность качества данных

1.2.2 — математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки), *2.3.1* — системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)

Введение

Проблема оперативной передачи большого объема информации в распределенных информационных системах реального времени [1, 2] является одной из наиболее важных.

Путем ее решения является минимизация трафика на основе исключения передачи некачественных данных (например, некондиционных фотоснимков, дублированных информационных блоков, сбойных файлов данных и т. д.). Это можно выполнить предварительной обработкой (проверкой) информации перед ее передачей между узлами сети [3]. При этом сокращается объем передаваемых данных, но возни-

кает необходимость дополнительных временных затрат на подготовительную обработку.

Предварительная проверка качества информации обычно подразумевает проверку всех передаваемых данных. Наиболее жесткие ограничения на время информационного обмена приводят, наоборот, к передаче данных без проверки.

В статье предложен и исследован алгоритм, реализующий обоснованный компромисс между объемом проверяемых и передаваемых данных при ресурсных ограничениях (временных, энергетических и т. д.) на информационные процессы по обмену данными.

Постановка задачи планирования информационного обмена данными априорно-неопределенного качества

Постановка задачи информационного обмена данными априорно-неопределенного качества может быть сформулирована следующим образом.

Дано: множество $B = \{b_1, b_2, \dots, b_N\}$ блоков данных (БД), размещенных на первом объекте с априорно неизвестными значениями признаков $\pi(b_i)$ пригодности, где $\pi(b_i) \in \{0, 1\}$, $i = 1, \dots, N$, причем если $\pi(b_i) = 1$, то блок считается пригодным, в противном случае — дефектным.

Требуется: найти план U информационного процесса передачи подмножества $Y \in B$ блоков данных, находящихся на первом объекте, мощности $k \leq N$ такой, что:

$$U(B) = \text{Arg max}_{Y \in B} s(Y)$$

при ограничении $r(U) \leq R_{\text{доп}}$,

где $s(Y) = \sum_{j=1}^k \pi(b_j)$, $b_j \in Y$ — показатель качества информационного обмена, выражающийся количеством пригодных переданных блоков;

$r(U)$ — ресурс, затраченный на проверку и передачу блоков данных в соответствии с планом U ;

$R_{\text{доп}}$ — имеющийся ресурс на информационный обмен.

Значение r требуемого ресурса на реализацию информационного процесса (проверки и передачи данных) определяется выражением:

$$r = \eta r_t + r_s \left(\sum_1^{\eta} \pi(b_i) + \mu \right),$$

где η — количество проверенных блоков;

μ — количество переданных без проверки блоков;

$\sum_1^{\eta} \pi(b_i)$ — количество проверенных блоков, оказавшихся по результатам проверки исправными (рис. 1).

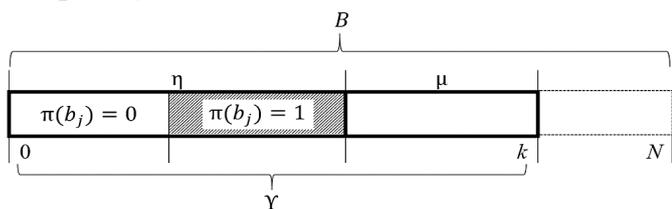


Рис. 1. Схема распределения блоков данных

План U информационного обмена, включающий процессы проверки и передачи блоков данных, в описанных выше условиях может быть формализован вектором $U = u_{\beta_i, k}$, $k \leq N$, задающим последовательность проверки и/или передачи блоков данных, где u_{β_i} — действие с блоком данных b_{β_i} в виде:

$$u_{\beta_i} = \begin{cases} 1 & \text{— проверить } b_{\beta_i}\text{-й блок данных, и если } \pi(b_{\beta_i}) = 1, \text{ то передать его, иначе — не передавать;} \\ 0 & \text{— передать } b_{\beta_i}\text{-й блок данных без проверки.} \end{cases}$$

Количество k элементов вектора U определяется количеством η проверенных и μ переданных блоков, а также числом пригодных из проверенных блоков.

Стратегия распределенного ресурсосберегающего информационного обмена при неопределенности качества информации [4] заключается в передаче проверенных блоков данных, оказавшихся по результатам проверок пригодными, и оставшихся — без проверки ($\eta \geq 0, \mu \geq 0$) с учетом достаточности ресурса на проверку и передачу блоков. Очевидно, что такая стратегия анализа и передачи блоков данных имеет смысл только в случае, когда затраты на проверку одного блока данных меньше затрат на его передачу ($r_t < r_s$). В противном случае предварительная проверка блоков нецелесообразна.

Алгоритм планирования информационного обмена с учетом анализа качества данных

Для решения поставленной задачи применение методов статистического контроля качества продукции [5] невозможно, так как необходимо учитывать ресурсоемкость операций контроля качества данных. Кроме того, имеет место ограниченный и, возможно, весьма малый объем передаваемых данных.

Рассмотрим два подхода к организации информационного обмена с предварительным анализом качества данных.

Первый подход (статический) предполагает передачу БД либо с предварительной проверкой всех БД ($u_i = 1, \forall i = 1, 2, \dots, k$), либо без

предварительной их проверки ($u_i = 0, \forall i = 1, 2, \dots, k$). Учитывая полную неопределенность качества данных, вероятность пригодности любого БД априори принимается за 0,5. При этом в первом случае количество элементов вектора U равно:

$$k = \frac{R}{\eta r_t + r_s \sum_1^\eta \pi(b_i)},$$

а во втором случае:

$$k = \left\lfloor \frac{R}{r_s} \right\rfloor$$

где η — количество проверенных БД;

$\lfloor x \rfloor$ — «ближайшее целое, меньшее или равное x ».

При этом предполагается, что распределение пригодных БД соответствует закону Бернулли [6] с вероятностью пригодности каждого БД, равной p .

При статическом решении не проверять БД ($u_i = 0$) математическое ожидание количества пригодных БД составит:

$$m_1 = \frac{R}{r_s} p,$$

а при решении с проверкой всех БД ($u_i = 1$) математическое ожидание количества пригодных БД составит:

$$m_2 = \frac{R}{r_t + p r_s} p.$$

Тогда целесообразность решения «проверить все БД» обоснована при условии $m_2 > m_1$, то есть при:

$$\frac{R}{r_t + p r_s} p > \frac{R}{r_s} p,$$

что равносильно условию:

$$p < 1 - \frac{r_t}{r_s},$$

а с учетом того, что $p = 1/2$ — условию:

$$\frac{r_t}{r_s} < \frac{1}{2}.$$

При втором подходе (динамическом) предполагается передача части БД с предварительной проверкой, а оставшейся части — без проверки.

Здесь также полагается, что на любом i -м шаге информационного обмена распределение пригодных БД соответствует закону Бернулли с вероятностью

пригодности каждого БД, равной p_i , однако, в отличие от предыдущего подхода, значение p_i не является константой, а изменяется по результатам проверки очередного БД.

Оценим математическое ожидание количества пригодных БД на основе использования априорной и апостериорной вероятности по Байесу [7].

На очередном i -м шаге требуется принять решение u_i относительно того, проверять очередной БД ($u_i = 1$) или нет ($u_i = 0$).

Если принято решение не проверять оставшиеся БД ($u_i = 0$), то математическое ожидание количества пригодных БД составит:

$$m_1 = \frac{R}{r_s} p_i,$$

где p_i — априорная вероятность пригодности i -го БД.

Если же принято решение проверить очередной БД ($u_i = 1$), то математическое ожидание количества пригодных непроверенных БД составит:

$$m_2 = p_i \left(1 + \frac{R - r_t - r_s}{r_s} p_{1i} \right) + (1 - p_i) \left(\frac{R - r_t}{r_s} p_{0i} \right).$$

Здесь p_{1i} — апостериорная вероятность пригодности одного БД в случае, если очередной i -й проверенный БД окажется пригодным, а p_{0i} — апостериорная вероятность пригодности одного БД в случае, если он окажется непригодным.

Эти апостериорные вероятности можно найти из следующих соотношений:

$$p_{0i} = \frac{p_i(i+1)}{i+2}, \quad p_{1i} = \frac{1 + p_i(i+1)}{i+2}.$$

Тогда решение $u_i = 1$ обоснованно при $m_2 > m_1$, то есть при:

$$p_i \left(r_s - (r_t + r_s) \frac{1 + p_i(i+1)}{i+2} \right) - (1 - p_i) r_t \frac{p_i(i+1)}{i+2} > 0.$$

Упрощая это неравенство, получим условие, при котором целесообразна проверка очередного БД в виде:

$$p_i < 1 - \frac{r_t(i+2)}{r_s(i+1)}.$$

Ниже представлен комплексный алгоритм, состоящий из двух алгоритмов информационного обмена с учетом анализа качества данных, реализующих статический (алгоритм 1) и динамический (алгоритм 2) подходы к организации информационного обмена.

Алгоритм 1. Статический анализ пригодности данных:

Шаг 1. Начало.

Шаг 2. $i := 1, s := 0, r := 0$.

Шаг 3. Если $r < R \wedge i \leq N$, то переход на шаг 4, иначе — на шаг 10.

Шаг 4. Если $\frac{r_i}{r_s} < \frac{1}{2}$, то переход на шаг 5, иначе — на шаг 6.

Шаг 5. $r := r + r_i + r_s \cdot (b_i)$. Если $\pi(b_i) = 1$, то переход на шаг 7, иначе — на шаг 8.

Шаг 6. $r := r + r_s$.

Шаг 7. Передать i -й БД.

Шаг 8. $s := s + \pi(b_i)$.

Шаг 9. $i := i + 1$. Переход на шаг 3.

Шаг 10. Конец.

Алгоритм 2. Динамический анализ пригодности данных:

Шаг 1. Начало.

Шаг 2. $i := 1, s := 0, r := 0$.

Шаг 3. Если $r < R \wedge i \leq N$, то переход на шаг 4, иначе — на шаг 12.

Шаг 4. Если $p < 1 - r_i(i+2) / r_i(i+1)$, то переход на шаг 5, иначе — на шаг 8.

Шаг 5. $r := r + r_i + r_s \cdot (b_i)$.

Шаг 6. $p := (\pi(b_i) + p(i+1)) / (i+2)$.

Шаг 7. Если $\pi(b_i) = 1$, то переход на шаг 9, иначе — на шаг 10.

Шаг 8. $r := r + r_s$.

Шаг 9. Передать i -й БД.

Шаг 10. $s := s + \pi(b_i)$.

Шаг 11. $i := i + 1$. Переход на шаг 3.

Шаг 12. Конец.

Вычислительная сложность обоих алгоритмов составляет $O(N)$. В результате работы алгоритмов значение переменной s будет равно количеству переданных пригодных БД.

Следует заметить, что на основе вышеизложенного представленные алгоритмы позволяют спланировать информационный обмен с учетом анализа качества данных и ресурсных ограничений.

Результаты моделирования планирования информационного обмена с учетом анализа качества данных

Для оценивания результативности предлагаемого алгоритма было проведено имитационное моделирование процессов планирования информационным обменом.

Исходными данными для моделирования являлись:

N — количество передаваемых БД;

r_s — ресурсные затраты на передачу одного БД;

r_i — ресурсные затраты на проверку одного БД;

R — имеющийся для информационного обмена ресурс.

Результативность применения предлагаемого алгоритма выражена средним значением γ отношения количества переданных пригодных БД к максимально возможному при заданных ресурсных ограничениях количеству пригодных БД.

В ходе моделирования на основе генератора случайных чисел задавались значения вектора $\pi(b_i) = 1, \dots, N$ пригодности БД.

На рис. 2 представлены зависимости показателя результативности γ алгоритмов с проверкой данных, без проверки данных и алгоритма статического анализа пригодности данных (алгоритм 1) от соотношения затрат на проверку и передачу данных для 20 БД при доступном ресурсе, достаточном для передачи всех пригодных БД.

На каждом шаге имитационного моделирования значение вектора пригодности БД менялось и приняло все возможные значения, а общее число шагов моделирования составило 2^N .

На рис. 3 представлены зависимости показателя результативности γ алгоритмов с проверкой данных, без проверки данных и алгоритма динамического анализа пригодности данных (алгоритм 2) от соотношения затрат на проверку и передачу данных для 20 БД при доступном ресурсе, достаточном для передачи всех пригодных БД.

При моделировании предполагалось, что все дефектные БД размещены «кучно» в одной области, причем их количество принимало все возможные значения.

Отметим, что в случае динамического анализа пригодности данных доля непригодных БД априори неизвестна.

При этом алгоритм 2 обеспечил значения показателя качества, близкие к лучшим из двух других алгоритмов.

Таким образом, из анализа проведенных исследований следует, что предложенный алгоритм может быть использован на практике при планировании информационного обмена в условиях ре-

сурсных ограничений и неопределенности качества информации.

Заключение

Приведенный алгоритм имеет практическую направленность на обоснование аппаратно-программных средств обеспечения передачи данных в мобильных устройствах при ограниченном энерго-временном ресурсе.

В отличие от известных [8–10], он реализует байесовский подход к оцениванию вероятности передачи пригодных БД, что позволяет сократить объем передаваемых данных без существенной потери их значимости.

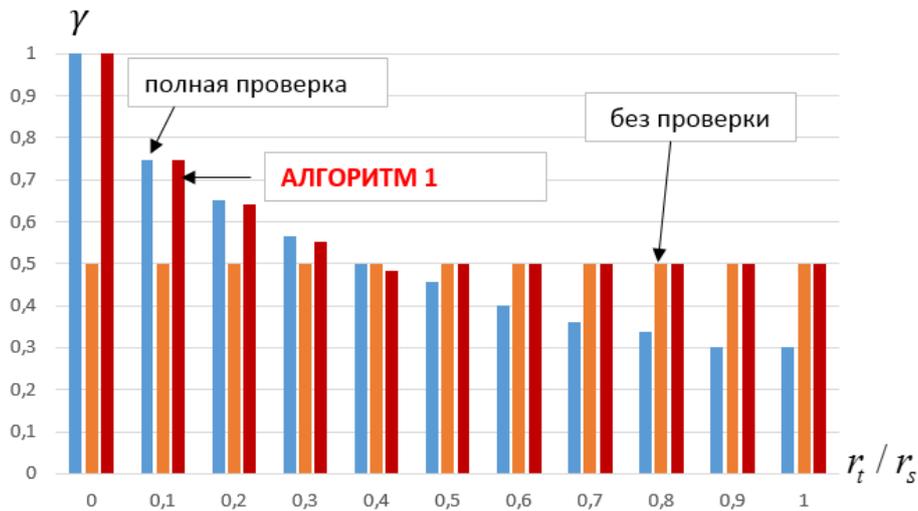


Рис. 2. Результативность статического анализа данных при изменении соотношения затрат на проверку и передачу БД

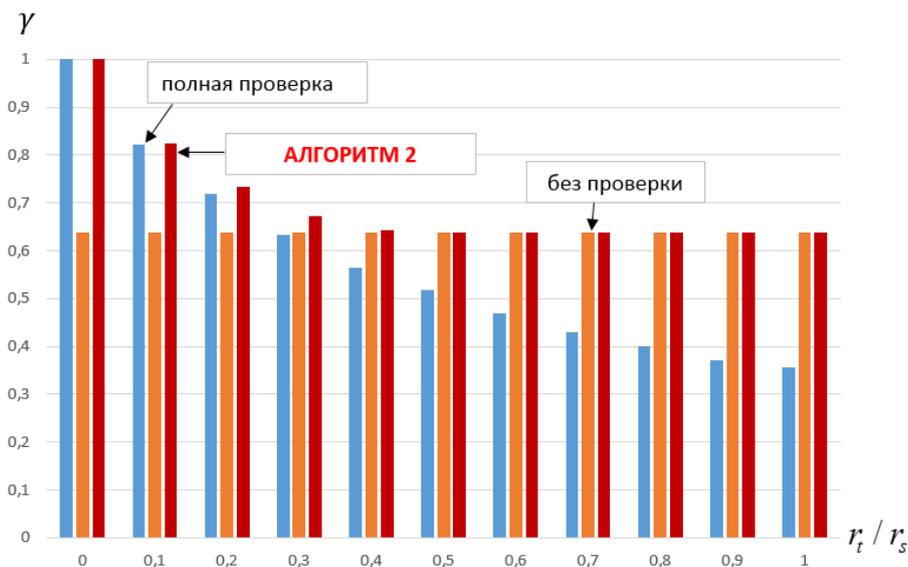


Рис. 3. Результативность динамического анализа данных при изменении доли непригодных БД

Результаты проведенного имитационного моделирования процессов информационного обмена с использованием предложенных алгоритмов свидетельствуют о том, что статический анализ пригодности данных целесообразно применять при

полной априорной неопределенности качества передаваемой информации. Динамический анализ актуален в ситуации, когда непригодные (сбойные) БД расположены подряд в общей последовательности блоков данных, что часто имеет место на практике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Луканов А. С. Системы реального времени: учебное пособие // Самара: Издательство Самарского университета, 2020. 156 с.
2. Distributed Systems: Concepts and Design / G. Coulouris [et al.]. Fifth edition. Addison-Wesley, 2011.
3. Балухто А. Н., Ключников В. Ю., Хартов В. В. Интеллектуальная обработка целевой информации на борту космических аппаратов многоспутниковых систем // Космонавтика и ракетостроение. 2020. № 3 (114). С. 49–63.
4. Басыров А. Г., Лупашко М. Н. Алгоритмы ресурсосберегающих информационных процессов на основе предварительного анализа качества данных // Технологии, алгоритмы и программы для решения прикладных задач кибербезопасности, помехозащищенности и информационного обеспечения. Вып. 5 (39) / под общ. ред. В. А. Овчарова. СПб.: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2022. С. 157–163.
5. ГОСТ Р 50779.12–2021. Статистические методы. Статистический контроль качества. Методы случайного отбора выборок штучной продукции. М.: Стандартинформ, 2021. 18 с.
6. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учебное пособие. 5-е изд. М.: КНОРУС, 2013. 480 с.
7. Тимофеев В. В., Лупашко М. Н., Степанов И. В. Алгоритм планирования энергосберегающих информационных процессов с использованием байесовского подхода // Технологии, алгоритмы и программы для решения прикладных задач кибербезопасности, помехозащищенности и информационного обеспечения. Вып. 4(38) / под общ. ред. В. А. Овчарова. СПб.: ВКА имени А. Ф. Можайского, 2021. С. 168–174.
8. Басыров А. Г., Кузнецов В. В., Лупашко М. Н. Алгоритмы ресурсосберегающего автономного контроля массива данных наблюдения в беспилотных летательных аппаратах // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2022. Вып. 3. С. 3–10.
9. Басыров А. Г., Калюжный А. В., Хомоненко А. Д. Алгоритм двуххранцевой упаковки с ограниченным межграничным обменом // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2022. № 1 (29). С. 29–33.
10. Калюжный А. В., Зыкова С. С., Терехов В. Г. Алгоритм поиска кратчайшего пути между подвижными объектами транспортной сети // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2020. № 3. С. 5–10.

Дата поступления: 02.11.2024

Решение о публикации: 02.11.2024

An Algorithm for Planning Information Exchange Based on On-Board Resource-Saving Data Preprocessing Using the Bayesian Approach

Alexander G. Basyrov — Dr. Sci. in Engineering, Professor of the Department of Information and Computing Systems and Networks. E-mail: alexanderbas@mail.ru

Fakhro Fairouz — Advanced Student of the Department of Information and Computing Systems and Networks. E-mail: fairouzarussia@gmail.com

Mozhaisky Military Aerospace Academy, 13, Zhdanovskaya str., St. Petersburg, 197198, Russia

For citation: Basyrov A. G., Fakhro F. An Algorithm for Planning Information Exchange Based on On-Board Resource-Saving Data Preprocessing Using the Bayesian Approach // Intellectual Technologies on Transport. 2024. № 4 (40). Pp. 24–30. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-440-24-30. (In Russian)

Abstract. *The substantiation, content and research of the algorithm for planning resource-saving information exchange in conditions of a priori uncertainty of the quality of transmitted data is presented. The formulation of the task of planning information exchange is given, taking into account the analysis of data quality. The results of simulation modeling of information exchange processes using the considered algorithm are reflected. The proposed algorithm can be used to organize data transmission in distributed real-time information systems with limited energy and time resources.*

Keywords: *information exchange, a priori uncertainty of data quality*

REFERENCES

1. Lukanov A. S. Sistemy real'nogo vremeni: uchebnoe posobie. Samara: Izdatel'stvo Samarskogo universiteta, 2020. 156 s. (In Russian)
2. Distributed Systems: Concepts and Design / G. Coulouris [et al.]. Fifth edition. Addison-Wesley, 2011.
3. Baluhto A. N., Klyushnikov V. Yu., Hartov V. V. Intel'ktual'naya obrabotka celevoj informacii na borte kosmicheskikh apparatov mnogosputnikovykh sistem // Kosmonavtika i raketostroenie. 2020. No. 3 (114). S. 49–63. (In Russian)
4. Basyrov A. G., Lupashko M. N. Algoritmy resursoberegayushchih informacionnykh processov na osnove predvaritel'nogo analiza kachestva dannykh // Tekhnologii, algoritmy i programmy dlya resheniya prikladnykh zadach kiberneticheskoy bezopasnosti, pomekhozashchishennosti i informacionnogo obespecheniya. Vyp. 5 (39) / pod obshch. red. V. A. Ovcharova. SPb.: VKA imeni A. F. Mozhajskogo, 2022. S. 157–163. (In Russian)
5. GOST R 50779.12–2021. Statisticheskie metody. Statisticheskij kontrol' kachestva. Metody sluchajnogo otbora vyborok shtuchnoj produkcii. M.: Standartinform, 2021. 18 s. (In Russian)
6. Ventcel' E. S., Ovcharov L. A. Teoriya veroyatnostej i ee inzhenernye prilozheniya: uchebnoe posobie. 5-e izd. M.: KNORUS, 2013. 480 s. (In Russian)
7. Timofeev V. V., Lupashko M. N., Stepanov I. V. Algoritm planirovaniya energosberegayushchih informacionnykh processov s ispol'zovaniem bajesovskogo podhoda // Tekhnologii, algoritmy i programmy dlya resheniya prikladnykh zadach kiberneticheskoy bezopasnosti, pomekhozashchishennosti i informacionnogo obespecheniya. Vyp. 4(38) / pod obshch. red. V. A. Ovcharova. SPb.: VKA imeni A. F. Mozhajskogo, 2021. S. 168–174. (In Russian)
8. Basyrov A. G., Kuznecov V. V., Lupashko M. N. Algoritmy resursoberegayushchego avtonomnogo kontrolya massiva dannykh nablyudeniya v bespilotnykh letatel'nykh apparatah // Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie". 2022. Vyp. 3. S. 3–10. (In Russian)
9. Basyrov A. G., Kalyuzhnyj A. V., Homonenko A. D. Algoritm dvuhrancevoj upakovki s ogranichenym mezhhrancevym obmenom // Intel'ktual'nye tekhnologii na transporte. 2022. No. 1 (29). S. 29–33. (In Russian)
10. Kalyuzhnyj A. V., Zykova S. S., Terekhov V. G. Algoritm poiska krachajshogo puti mezhdru podvizhnymi ob'ektami transportnoj seti // Intel'ktual'nye tekhnologii na transporte. 2020. No. 3. S. 5–10. (In Russian)

Received: 02.11.2024

Accepted: 02.11.2024

УДК 06.81.25

Трансформация управления данными в ОАО «РЖД»

**Быстрицкий
Дмитрий
Владимирович¹**

— начальник Управления анализа и статистики Департамента информатизации ОАО «РЖД». Область научных интересов: корпоративные системы управления данными, управление большими данными, аналитика данных, статистический учет, цифровая трансформация. E-mail: dmytriyvb@mail.ru

**Ермаков Сергей
Геннадьевич²**

— докт. техн. наук, профессор. Заведующий кафедрой «Информационные и вычислительные системы». Область научных интересов: политика в области цифровой трансформации и открытых данных, корпоративные системы управления данными, управление большими данными. E-mail: ermakov@pgups.ru

**Баталов Дмитрий
Иннокентьевич²**

— канд. техн. наук. Доцент кафедры «Информационные и вычислительные системы». Область научных интересов: информационные системы, обработка больших данных, программные роботы, нейронные сети. E-mail: d.i.batalov@yandex.ru

¹ ОАО «Российские железные дороги», Россия, 107174, Москва, Новая Басманная ул., 2/1, стр. 1

² Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Быстрицкий Д. В., Ермаков С. Г., Баталов Д. И. Трансформация управления данными в ОАО «РЖД» // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 4 (40). С. 31–42. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-440-31-42

Аннотация. Рассмотрен процесс трансформации управления данными в ОАО «РЖД», основных направлений развития Корпоративной системы управления данными (КСУД), а также перспективы дальнейшего совершенствования работы с данными в компании. В статье использованы методы анализа опыта зарубежных железнодорожных компаний в области управления данными, анализа ключевых тенденций развития цифровой экономики и государственной политики в области управления данными, а также анализа результатов внедрения КСУД в ОАО «РЖД». Представлены основные задачи, структура, процессы и технологии КСУД, а также основные результаты ее внедрения, включая сокращение количества отчетов и сотрудников, задействованных в их формировании. Рассмотрены ключевые аспекты формирования культуры работы с данными в компании, а также перспективы развития КСУД, включая расширение объема данных, развитие инструментов аналитики и интеграцию с другими системами.

Ключевые слова: управление данными, большие данные, аналитика данных, цифровая трансформация, КСУД, ОАО «РЖД»

2.3.1 — системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические), **2.3.5** — математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей обеспечение (технические)

Введение

Управление данными, подобно кровеносной системе современного предприятия, становится ключевым элементом национального проекта

«Экономика данных» и важным инструментом решения задач импортозамещения в России [1]. В условиях стремительного роста информационных

потоков использование данных и предиктивной аналитики открывает беспрецедентные возможности для снижения издержек и повышения эффективности производственной деятельности. Однако данные сами по себе не несут ценности. Только будучи интегрированными в реальные бизнес-процессы компании, они способны раскрыть свой потенциал и принести максимальную пользу.

ОАО «РЖД», являясь одним из крупнейших транспортных холдингов мира, оперирует колоссальными массивами данных, общий объем которых достигает 39 петабайт. В этом контексте повышение качества данных, исключение дублирующих потоков и избавление от многократного хранения одной и той же информации в различных системах позволит добиться реального эффекта и создаст прочный фундамент для принятия управленческих решений на основе достоверной и актуальной информации. Достижение этой амбициозной цели — еще одна важная задача цифровой трансформации компании [2].

Основой для перехода к эффективному управлению данными в ОАО «РЖД» служит Корпоративная система управления данными (КСУД), архитектура которой учитывает географию и масштаб информационных систем холдинга. На сегодняшний день объем данных, мигрировавших из других систем компании в КСУД, составляет 30%, а к 2024 году планируется довести этот показатель до 65% [3]. В рамках развития КСУД предусмотрены создание единого пространства для совместной работы и обмена данными, внедрение единой системы мониторинга их подготовки, разработка инструментов продвинутой аналитики, а также формирование новых компетенций у специалистов в этой области.

При этом также повышается уровень цифрового взаимодействия ОАО «РЖД» с государственными структурами. Компания активно сотрудничает по вопросам цифровой трансформации и импортозамещения с Министерством транспорта и Министерством цифрового развития, связи и массовых коммуникаций России. Одним из событий стало создание ОАО «РЖД» в 2022 году витрины данных в Национальной системе управления данными (НСУД) [4]. Это позволит в будущем опера-

тивно и эффективно выстраивать взаимодействие с федеральными и региональными органами исполнительной власти.

Опыт зарубежных компаний в применении технологий по работе с данными в транспортной области

Опыт зарубежных компаний, работающих в сфере железнодорожных перевозок, демонстрирует значительный потенциал технологий управления данными и предиктивной аналитики для повышения эффективности производственной деятельности. Рассмотрим несколько примеров, иллюстрирующих успешное применение этих подходов.

Компании Siemens и VALE реализовали проекты по прогнозированию неисправностей поездов на основе анализа больших данных. В качестве источников данных используются показатели состояния различных компонентов поездов (подшипники, редукторы, двигатели и др.), а также информация о скорости, весе, поведении при торможении и другие параметры. Созданные модели, использующие искусственный интеллект, позволяют оптимизировать расстановку вагонов и маршруты движения [5]. Результаты впечатляют: на Deutsche Bahn с момента запуска пилотного проекта в 2016 году на поездах Velaro D не было зафиксировано ни одного отказа компонента. Достигнуто сокращение простоев на 30–50% и снижение затрат на техническое обслуживание на 10–15% (по данным 2020 года). Этот пример показывает повышение надежности механизмов, в которых каждая деталь работает слаженно благодаря информации, получаемой из данных [6].

Программа ORBIS (Offering Rail Better Information Services) стоимостью £300 млн направлена на трансформацию системы управления активами Network Rail с целью экономии £750 млн за 10 лет [7]. В рамках программы создается цифровая модель активов, объединяющая данные о конфигурации и состоянии объектов железнодорожной сети, линейную схему, информацию из геоинформационной системы (ГИС), BIM-моделей и других источников. На первом этапе разрабатываются алгоритмы

оптимизации процессов технического обслуживания и ремонта (ТОиР) на основе исторических данных и информации, собираемой в автоматическом режиме и линейным персоналом с помощью мобильных устройств. Уже реализована базовая инфраструктура для создания информационных сервисов, включая модель, наполненную объектами, хранилище данных и подключение источников данных о состоянии объектов (автоматизированная фотосъемка, мобильные приложения). Запущены первые сервисы по анализу и прогнозированию необходимости ремонта, которые за два года позволили снизить затраты на ТОиР на £125 млн за счет уменьшения частоты и длительности ремонтов. Этот пример показывает, как информация благотворно влияет на процессы принятия решений, обеспечивая эффективное функционирование всей системы.

Japan Railways East использует технологии машинного обучения для анализа снимков головки рельса, получаемых устройствами слежения за путями [8]. Алгоритмы, обученные на выборке, размеченной опытными инженерами, позволяют распознавать и классифицировать дефекты с вероятностью около 98%. Это позволяет сократить количество плановых осмотров и перекрытий путей, а также оптимизировать скорость движения поездов. В результате достигнуто снижение затрат на ТО на 10–15% (по данным 2020 года).

Основные тренды обработки данных

Среди главных тенденций можно выделить переход от традиционной статистики к управлению жизненным циклом данных. Этот сдвиг парадигмы наблюдается не только в коммерческих организациях, но и в государственных структурах, таких как Росстат. Фокус смещается с простого сбора и обработки данных на их использование для принятия управленческих решений. В этом контексте большие данные играют ключевую роль, позволяя выявлять сложные зависимости и предсказывать тенденции. Однако здесь важно не утонуть в море данных, а уметь извлекать из них ценные знания.

Аналитика данных становится все более востребованной, превращая сырые данные в понятную и визуализированную информацию. Новые

технологии, такие как машинное обучение и искусственный интеллект, позволяют автоматизировать процессы обработки огромных объемов данных и извлекать из них скрытые закономерности. Важно отметить, что, несмотря на распространенное использование термина «искусственный интеллект», в большинстве случаев речь идет о машинном обучении и применении нейронных сетей.

Глобализация статистики — еще один важный тренд, обусловленный развитием информационных технологий и международной торговли. Данные становятся все более взаимосвязанными и доступными в глобальном масштабе. В связи с этим возрастает значение качества данных, которое напрямую влияет на эффективность принимаемых решений. Достижение стопроцентного качества данных на данный момент является утопией, но определение приемлемого уровня погрешности — важный и практический вопрос.

Внедрение новых технологий и подходов к управлению данными требует формирования культуры работы с данными на всех уровнях организации. Это включает в себя разработку инструментов и правил верификации данных, а также повышение доверия к аналитике со стороны руководителей. Только в случае, когда данные воспринимаются как ценный ресурс и основа для принятия решений, можно говорить о реальной трансформации управления данными.

Корпоративная система управления данными ОАО «РЖД»

Корпоративная система управления данными ОАО «РЖД» представляет собой комплекс взаимосвязанных организационных, методологических и технологических решений, направленных на повышение эффективности использования данных в деятельности компании. Ключевые задачи КСУД представлены на рис. 1.

Формирование сбалансированного подхода к оптимальному объему хранения данных:

- однократный ввод данных, многократное использование;
- глубина хранения данных, соответствующая максимальному запросу.

Развитие инструментов работы с хранимыми данными:

- сбор данных со всех технических источников с использованием методологии очистки и дополнения;
- расширение набора данных для развития предиктивной аналитики.

Обеспечение скорости доступа к данным:

- создание инструментов моделирования;
- формирование пакетов наиболее востребованных витрин данных;
- создание среды по работе с аналитикой.

Повышение полноты и качества данных:

- применение технологии IoT;
- использование расчетных методов математической статистики.

Формирование культуры работы с данными:

- обучение персонала и другие инструменты;
- внедрение новых ролей в области управления данными.

Использование технологий искусственного интеллекта:

- внедрение современных технологий для принятия управленческих решений на основе больших данных.

Концепция КСУД, утвержденная 10.09.2020 №1354, основывается на комплексном подходе, включающем технологии, людей и процессы (рис. 2).

Структура КСУД включает следующие функциональные блоки:

- управление безопасностью данных;
- управление мастер-данными и нормативно-справочной информацией;
- управление качеством данных;
- управление интеграцией данных;
- управление метаданными, происхождением, архитектурой;
- управление жизненным циклом и хранением данных.

В рамках концепции разработана процессная модель, охватывающая бизнес-функции, функции управления данными и IT-функции. КСУД в первую очередь ориентирована на бизнес-функции, и ее построение является не столько задачей IT-департамента, сколько задачей взаимодействия IT-специалистов с бизнес-пользователями для создания инструментов, необходимых для эффективной работы с данными.

Для функционирования КСУД предусмотрены различные роли, распределенные по уровням



Рис. 1. Основные задачи Корпоративной системы управления данными ОАО «РЖД» (КСУД)

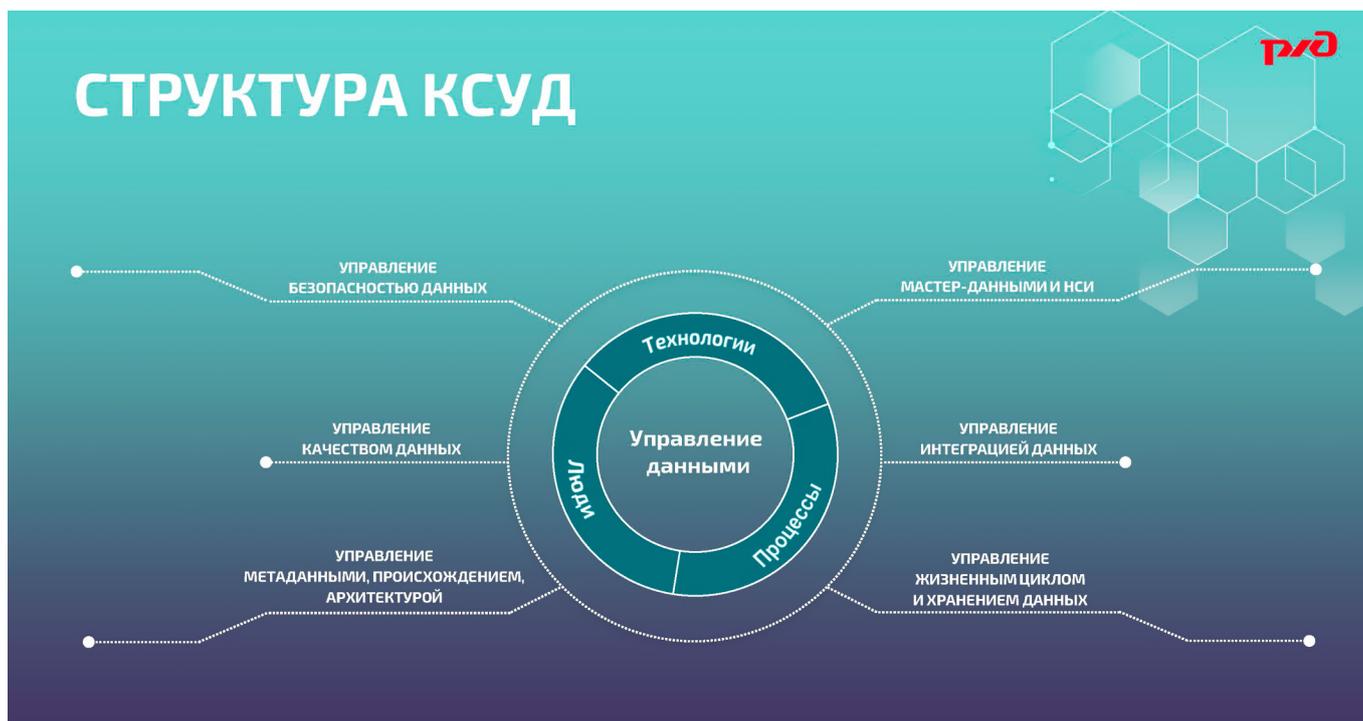


Рис. 2. Структура Корпоративной системы управления данными ОАО «РЖД»

и функциональным блоком. Особо выделены роли исследователя данных и бизнес-аналитика, которые могут присутствовать во всех блоках, но в текущей модели позиционируются в блоке управления данными для обеспечения более подконтрольной эксплуатации и работы с критически важными данными.

Часть данных, которыми оперирует ОАО «РЖД», является чувствительной с точки зрения распространения и доступа, например, персональные данные пассажиров или данные о договорах с клиентами. Доступ к таким данным строго регламентируется, учитывая как внутренние политики компании, так и требования законодательства.

Функциональная ответственность за КСУД распределена в соответствии с распорядительными документами компании. Владелец данных (уполномоченное лицо или функциональное подразделение) определяет политику работы с данными как внутри компании, так и во взаимодействии с внешними организациями, включая федеральные органы исполнительной власти и клиентов. Аналитики, работающие с бизнес-процессами, используют данные для совершен-

ствования технологий и повышения доходности компании.

В последние годы в России сформировалось понимание важности качества данных, которое включает такие аспекты, как достоверность, полнота, непротиворечивость, непрерывность, оперативность и безопасность.

В ОАО «РЖД» создан базовый сегмент КСУД, включающий единую терминологию, описание показателей с формулами и распределительные документы. Организован рабочий документооборот для заявок, рассмотрения и утверждения новых показателей, что упрощает работу с аналитикой и повышает ее качество.

Наличие единой описательной базы (методологической составляющей КСУД) сокращает время на интеграционные решения и в дальнейшем позволит быстро и оперативно извлекать необходимые данные для аналитики.

Сквозные процессы, люди, технологии, результаты

В основе функционирования КСУД лежат сквозные процессы, охватывающие различные уровни деятельности компании

и обеспечивающие взаимодействие бизнес-подразделений, специалистов по управлению данными и IT-подразделений. Выделяются следующие группы процессов:

1. Бизнес-функции (процессы по предоставлению аналитических сервисов):
 - предоставление аналитики;
 - ведение единого реестра по документам в репозитории;
 - стандартизация информационного обмена.
2. Функции управления данными (процессы по унификации технологической инфраструктуры):
 - ведение метаданных;
 - взаимодействие и интеграция разнородных источников данных;
 - ведение платформы КСУД в части цифровой трансформации процессов;
 - проектирование и разработка АС, ИС.
3. Функции IT (процессы по сбору, хранению и работе с данными):
 - управление ЦНСИ;
 - обеспечение контроля качества данных;
 - создание и ведение корпоративной модели данных;
 - ведение архитектуры данных.

Роли для функционирования процессов КСУД также распределены по трем уровням.

Бизнес-функции:

1. Владелец домена данных: определяет структуру и состав данных, формирует требования к описанию метаданных и качеству.
2. Архитектор домена данных: проектирование и внедрение изменений в доменах данных.
3. Владелец бизнес-термина: ответственный за данные по своему бизнес-процессу.
4. Распорядитель данных (Data Steward): ответственный за данные по своему бизнес-процессу.
5. Бизнес-аналитик: анализ данных, интерпретация результатов анализа, предоставление дополнительных данных для анализа.
6. Потребитель данных: формирование требований, регистрация инцидентов качества данных, запрос на поиск данных.
7. Инженер данных: сбор, очистка, хранение, передача данных.

Функции управления данными:

1. Менеджер по качеству данных: ведение единого реестра проверок качества данных, запуск проверок, информирование владельцев, решение инцидентов.
2. Ответственный за бизнес-метаданные: обеспечение консистентности глоссария и репозитория.
3. Ответственный за технические метаданные: обеспечение консистентности банка метаданных.
4. Ответственный за мастер-данные и НСИ: подготовка методик ведения и контроля качества НСИ.
5. Архитектор данных: методология и ведение моделей данных, проверка связанности данных, проектирование информационных потоков (lineage).
6. Методолог КСУД: разработка стандартов, методик, требований КСУД.
7. Инженер данных: сбор, очистка, хранение, передача данных.
8. Бизнес-аналитик: анализ данных, интерпретация результатов анализа, предоставление дополнительных данных для анализа.

Функции IT:

1. Архитекторы информационной безопасности: сбор, очистка, хранение и передача данных для анализа.
2. Архитектор ИС / технические распорядители данных: ведение банка метаданных, привязка на физическом уровне каждого поля к бизнес-термину глоссария.
3. Ответственный за мастер-данные и НСИ: управление системой НСИ, структуризация данных и их централизация.
4. Технолог по качеству данных: обеспечение качества реализации МД, формирование технических правил оценки КД.
5. Системный аналитик: техническое сопровождение проектирования системы, концептуально-логическое проектирование системы и сопровождение разработанных проектных решений.
6. Исследователь данных (Data scientist): анализ данных с помощью методов математической статистики, моделирования и других аналитических методов (машинное обучение, текстовая аналитика и др.), может быть в функциях бизнеса и УД.

Эффекты от внедрения сквозных процессов КСУД:

1. Повышение качества данных: достоверность, непротиворечивость, непрерывность, оперативность, полнота, безопасность.
2. Управление жизненным циклом данных: взаимосвязь единой модели данных с бизнес-процессами.
3. Сокращение времени на интеграционные решения.
4. Снижение эксплуатационных расходов на поддержку жизненного цикла данных.
5. Усиление технологических компетенций при снижении численности и затрат на ФОТ.
6. Снижение затрат на ИТ-разработки за счет новых интеграционных решений без дублирования функционала.

Для успешной реализации КСУД необходимо формирование культуры работы с данными на всех уровнях организации. Это предполагает:

1. Понимание ценности данных: осознание важности данных как стратегического ресурса для принятия обоснованных решений.
2. Обучение и развитие сотрудников: предоставление сотрудникам необходимых знаний и навыков для работы с данными.
3. Открытость к изменениям: компания должна быть готова к внедрению новых технологий и методов работы с данными для улучшения процессов и результатов.

Первый шаг в этом направлении — обучение сотрудников работе с данными и аналитикой. В ОАО «РЖД» уже запущена программа обучения аналитиков в корпоративном университете, которая демонстрирует высокую потребность в таких компетенциях. Планируется создание аналитического сообщества, которое станет основой для формирования вертикали аналитики в компании [9].

Понимание ценности данных — еще один важный аспект. Необходимо четко определить, для каких целей нужны данные, какие задачи они смогут решить. Работа с данными должна стать неотъемлемой частью любого производственного процесса, поскольку данные рождаются на всех

его этапах. Работа с данными позволяет оптимизировать производственные процессы, повысить их эффективность и снизить издержки.

ОАО «РЖД» создало импортонезависимую Корпоративную систему управления данными, объединяющую всю информацию о деятельности холдинга на единой платформе. Это позволяет повысить эффективность предиктивной аналитики и унифицировать процессы работы с данными и аналитической отчетностью [10].

КСУД уже охватывает все критически важные данные, необходимые для статистического, бухгалтерского и управленческого учета, и ускоряет, упрощает и повышает удобство работы с ними, а также повышает доверие сотрудников к аналитической информации.

Описаны метаданные из 40 систем-источников (в том числе 265 форм статистической отчетности). КСУД станет основой для внедрения технологии искусственного интеллекта. Платформа обеспечит создание аналитических сервисов в холдинге на основе новых технологий контроля инфраструктуры, мониторинга перемещения грузов, моделирования и управления перевозочным процессом, даст возможность использования этих систем на внешнем контуре компании. Успешно решать задачи обеспечения надежной и безопасной работы с данными, активного развития цифровых сервисов, основанных на реализации политики импортозамещения, растущих объемах данных, помогает переход на СУБД Postgres Pro.

В ОАО «РЖД» накоплено 39 петабайт данных — это мощная база для монетизации и взаимодействия с партнерами, основа для создания персонализированных сервисов и предложений клиентам компании, потенциал повышения качества управленческих решений и эффективности компании (рис. 3).

Проект построения КСУД получил признание профессионального сообщества, что подтверждает эффективность выбранных подходов и реализованных решений. Особое значение имеет ориентация на потребности бизнеса, что обеспечивает понимание и поддержку проекта со стороны руководства и сотрудников компании.



Рис. 3. Комплекс систем управления и анализа данных

Аналитика больших данных

Аналитика данных, являясь неотъемлемой частью КСУД, представлена информационно-аналитической визуализацией, охватывающей стратегический, тактический и операционный уровни управления, а также модулями продвинутой аналитики.

В рамках КСУД реализована система бизнес-аналитики (BI), предоставляющая единое окно доступа к инструментам анализа данных. Кроме того, разрабатываются подходы к внедрению инструментов продвинутой аналитики, ключевым требованием к которым является интеграция с базовой системой управления данными и работа на корпоративном хранилище данных.

В настоящее время реализуется комплексный проект, включающий большое количество сегментов. Часть проекта, связанная с управлением данными, уже функционирует. Корпоративное хранилище данных наполняется с учетом задач импортозамещения, в рамках которого происходит переход с программных продуктов SAS на отечественные аналоги. Параллельно ведется интеграция с системой ЦНСИ. В процессе миграции систем могут возникнуть сложности, связанные с неравномерностью этого процесса, что может

потребовать доработки отдельных элементов. Тем не менее такой подход был выбран сознательно, поскольку он позволяет не останавливать работу системы и в итоге приведет к наполнению хранилища данными. Вопросы, связанные с дополнением и очисткой данных, будут решаться на последующих этапах.

В ОАО «РЖД» применяются четыре вида аналитики, которые охватывают весь спектр аналитических задач (рис. 4):

1. **Дескриптивная аналитика (описательная)** отвечает на вопрос «Что было?». На сегодняшний день этот вид аналитики наиболее развит в компании. Он используется для выявления и мониторинга проблем, а также их диагностики на основе данных. Основными сферами применения являются структурированные данные и отчетность, а также визуализация данных на информационных панелях (dashboards).

2. **Диагностическая аналитика** отвечает на вопрос «Почему это случилось?». Этот вид аналитики также достаточно хорошо развит в компании и применяется для выявления зависимостей и факторов, влияющих на проблемы. Сферы применения включают мониторинг, планирование и разработку

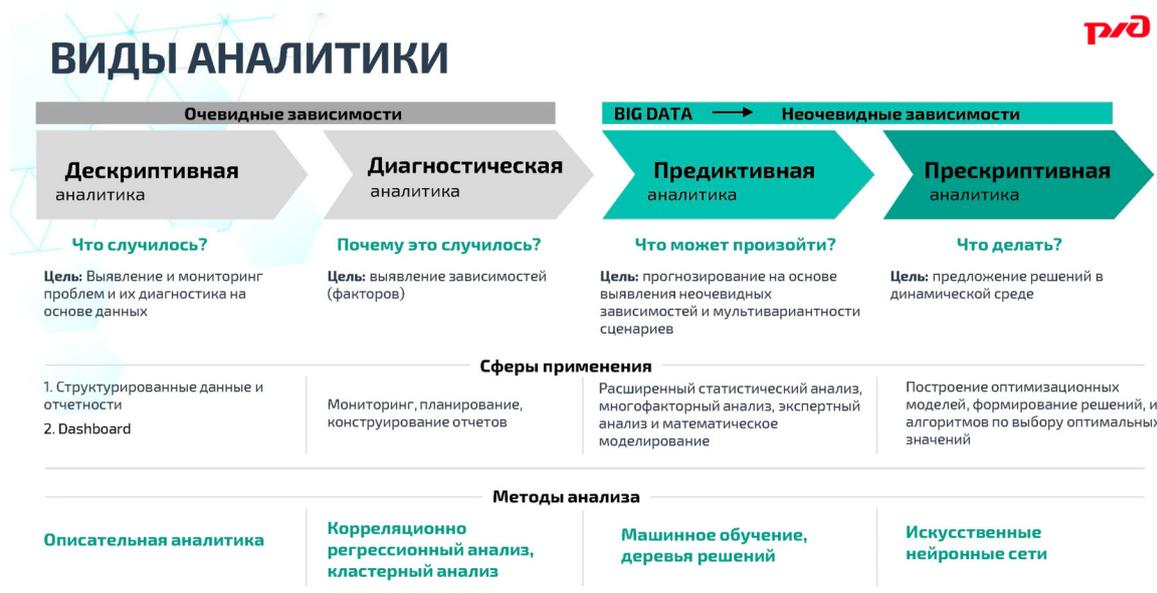


Рис. 4. Виды аналитики

отчетов. В качестве методов анализа используются корреляционно-регрессионный и кластерный анализ.

3. Предиктивная аналитика (прогнозная) отвечает на вопрос «Что может произойти?». Этот вид аналитики находится в стадии развития в компании. Он используется для прогнозирования на основе выявления неочевидных зависимостей и анализа различных сценариев. Сферы применения включают расширенный статистический анализ, многофакторный анализ, экспертный анализ и математическое моделирование. В качестве методов анализа применяются машинное обучение и деревья решений.

4. Прескриптивная аналитика (предписывающая) отвечает на вопрос «Что делать?». Это наиболее сложный вид аналитики, развитие которого требует формирования культуры работы с данными в компании. Он используется для предложения решений в динамически изменяющейся среде. Сферы применения включают построение оптимизационных моделей, разработку решений и алгоритмов по выбору наилучших значений. В качестве методов анализа используются искусственные нейронные сети.

Важно отметить, что развитие прескриптивной аналитики требует формирования культуры работы с данными и изменения отношения к аналитической работе на всех уровнях компании. Для этого

в ОАО «РЖД» применяются различные инструменты, включая обучение, разработку нормативных и методологических документов, а также формирование критической массы специалистов, способных работать с данными и аналитикой.

В ОАО «РЖД» применяются различные методы анализа и инструменты, включая машинное обучение, деревья решений и искусственные нейронные сети. Например, в настоящее время ведется работа по созданию системы анализа графика движения поездов, которая позволит автоматизировать анализ графика и причин задержек поездов.

Цикл предиктивного анализа в ОАО «РЖД» выстраивается в двух ипостасях: исследовательской и продуктивной.

Исследовательский цикл представляет собой замкнутый цикл, в котором происходят поиск, сбор и анализ данных, построение и тестирование моделей, а также интерпретация результатов.

Продуктивный цикл начинается после того, как модель прошла исследовательский цикл и готова к внедрению в производственный процесс. На этом этапе модель используется для регулярного анализа данных и выдачи результатов, при этом необходим постоянный мониторинг ее работы и качества выдаваемых результатов.

В цикле предиктивного анализа могут участвовать следующие специалисты:

1. **Дата-инженер** отвечает за сбор, очистку, хранение и передачу данных.

2. **Дата-сайентист** отвечает за анализ данных, построение моделей и визуализацию результатов анализа.

3. **Технолог по качеству данных** отвечает за мониторинг качества данных и моделей, а также за устранение инцидентов, связанных с качеством данных.

4. **Бизнес-аналитик** отвечает за постановку задач анализа, интерпретацию результатов анализа и предоставление дополнительных данных для анализа (рис. 5).

КСУД является средой для работы с продвинутой аналитикой, предоставляя необходимые инструменты и данные для построения и применения аналитических моделей.

Заключение

Трансформация управления данными в ОАО «РЖД» — это комплексный и многогранный процесс, направленный на повышение эффективности деятельности компании за счет более полного и качественного использования данных. В условиях стремительного роста объемов информации и развития технологий работы с данными компания активно внедряет новые подходы и инструменты, стремясь максимально раскрыть потенциал данных как стратегического ресурса.

В основе этой трансформации лежит создание Корпоративной системы управления данными (КСУД), которая объединяет в себе технологические, процессные и организационные аспекты работы с данными. КСУД обеспечивает единые стандарты и правила работы с данными, повышает их качество и доступность, а также создает среду для развития аналитики и принятия управленческих решений на основе данных.

Опыт зарубежных железнодорожных компаний демонстрирует значительный потенциал технологий управления данными и предиктивной аналитики для повышения эффективности производственной деятельности, снижения издержек и повышения безопасности. ОАО «РЖД» активно изучает и внедряет передовой опыт, адаптируя его к своим потребностям и особенностям.

В рамках трансформации управления данными особое внимание уделяется формированию культуры работы с данными на всех уровнях организации. Это включает в себя обучение сотрудников, развитие специализированных компетенций, а также повышение осознания важности данных для достижения стратегических целей компании.

Важным аспектом трансформации является также стандартизация подходов и методологий работы с данными, что позволяет повысить

ЦИКЛ ПРЕДИКТИВНОГО АНАЛИЗА

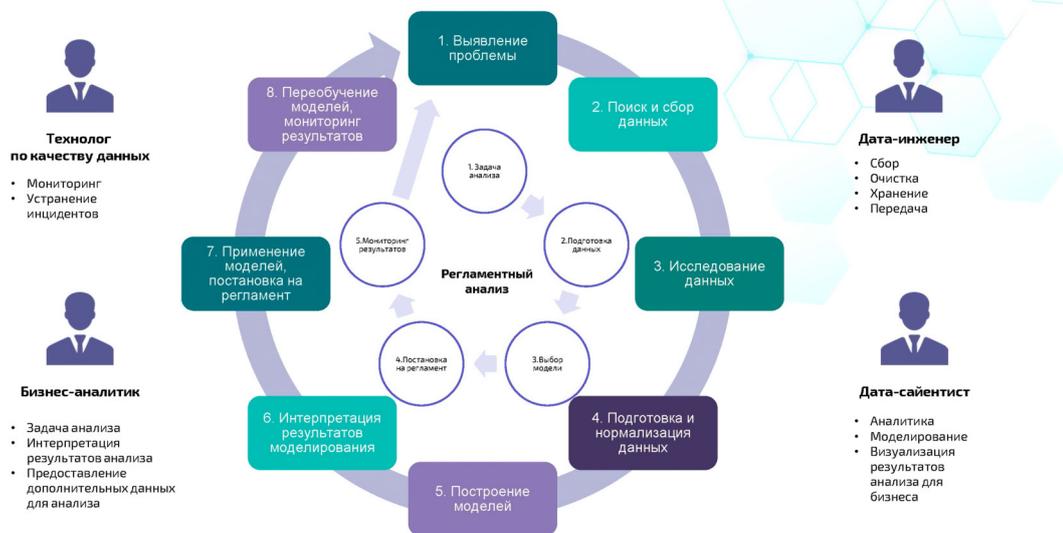


Рис. 5. Цикл предиктивного анализа

эффективность взаимодействия различных подразделений и служб компании.

ОАО «РЖД» активно участвует в формировании национальной системы управления данными (НСУД), что способствует повышению эффективности взаимодействия с государственными органами и другими организациями.

В дальнейшем компания планирует продолжить развитие КСУД, расширяя объем данных, развивая

инструменты аналитики, включая инструменты искусственного интеллекта, и интегрируя КСУД с другими системами.

Трансформация управления данными в ОАО «РЖД» — это стратегически важный процесс, который позволит компании укрепить свои позиции как лидера в отрасли и обеспечить устойчивое развитие в условиях цифровой трансформации экономики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Послание Президента РФ В. В. Путина Федеральному собранию (29 февраля 2024 года): высказывания, важные для отрасли высоких технологий и цифровой экономики. URL: <https://raec.ru/live/branch/14378/?ysclid=lu27g2jxj9297673075> (дата обращения: 27.08.2024).
2. Чаркин Е. И. Цифровая трансформация ОАО «РЖД»: не снижая набранных темпов // Железнодорожный транспорт. 2023. № 4. С. 4–8.
3. Чаркин Е. И. Цифровизация компании продолжается // Автоматика, связь, информатика. 2024. № 4. С. 2–3.
4. Чаркин Е. И. Цифровая трансформация на верном пути // Автоматика, связь, информатика. 2023. № 4. С. 2–4.
5. Deutsche Bahn and Siemens Launch Pilot Project for Predictive Maintenance. Press Release 25 October 2016. URL: <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/deutsche-bahn-and-siemens-launch-pilot-project-predictive-maintenance> (дата обращения: 27.08.2024).
6. Gruppe D. B. S. DB Systemtechnik Activity Report 2018/2019.
7. ORBIS — Network Rail’s Offering Rail Better Information Services. URL:// <https://www.theiet.org/impact-society/factfiles/raeng-and-iet-documents/orbis-network-rail-s-offering-rail-better-information-services> (дата обращения: 27.08.2024).
8. Takikawa M. Innovation in Railway Maintenance Utilizing Information and Communication Technology (Smart Maintenance Initiative) // Japan Railway & Transport Review. 2016. Vol. 67. P. 14.
9. Быстрицкий Д. В. Социально-психологические факторы разработки и внедрения информационных систем в ОАО «РЖД» // Инновационные бизнес-процессы в менеджменте ОАО «Российские железные дороги»: развитие управленческого инструментария / под ред. О. В. Ефимовой, Е. Б. Бабошина. М.: Прометей, 2023. С. 68–75.
10. Чаркин Е. И. Обращение // Вестник цифровой трансформации РЖД. 2023. № 3. С. 1.

Дата поступления: 19.11.2024

Решение о публикации: 29.11.2024

Transformation of Data Management in Russian Railways

- Dmitriy V. Bystritsky**¹ — Head of the Department of Analysis and Statistics of the Department of Informatization of JSC “Russian Railways”. Research interests: corporate data management systems, big data management, data analytics, statistical accounting, digital transformation. E-mail: dmytriyvb@mail.ru
- Sergey G. Ermakov**² — Dr. Sci. in Engineering, Professor. Head of the Department of Information and Computing Systems. Research interests: digital transformation and open data policy, corporate data management systems, big data management. E-mail: ermakov@pgups.ru
- Dmitriy I. Batalov**² — PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Information and Computing Systems. Research interests: information systems, big data processing, software robots, neural networks. E-mail: d.i.batalov@yandex.ru

¹ JSC “Russian Railways”, 2/1, building 1, Novaya Basmannaya str., Moscow, 107174, Russia

² Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., St. Petersburg, 190031, Russia

For citation: Bystritsky D.V., Ermakov S.G., Batalov D.I. Transformation of Data Management in Russian Railways // Intellectual Technologies on Transport. 2024. No. 4 (40). Pp. 31–42. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-440-31-42. (In Russian)

Abstract. *The process of transformation of data management in JSC “Russian Railways”, the main directions of development of the Corporate Data Management System (CSMS), as well as prospects for further improvement of data management in the company are considered. The article uses methods for analyzing the experience of foreign railway companies in the field of data management, analyzing key trends in the development of the digital economy and state policy in the field of data management, as well as analyzing the results of the implementation of CSMS in JSC Russian Railways. The main tasks, structure, processes and technologies of CSMS are presented, as well as the main results of its implementation, including reducing the number of reports and employees involved in their formation. The key aspects of the formation of a culture of working with data in the company are considered, as well as the prospects for the development of CSM, including the expansion of data volume, the development of analytics tools and integration with other systems.*

Keywords: *data management, big data, data analytics, digital transformation, CSM, JSC “Russian Railways”*

REFERENCES

1. Poslanie Prezidenta RF V. V. Putina Federal’nomu sobraniyu (29 fevralya 2024 goda): vyskazyvaniya, vazhnye dlya otrasli vysokih tekhnologij i cifrovoj ekonomiki. URL: <https://raec.ru/live/branch/14378/?ysclid=lu27g2jxj9297673075> (data obrashcheniya: 27.08.2024). (In Russian)
2. Charkin E. I. Cifrovaya transformaciya OAO “RZHD”: ne snizhaya nabrannyh tempov // Zheleznodorozhnyj transport. 2023. No. 4. S. 4–8. (In Russian)
3. Charkin E. I. Cifrovizaciya kompanii prodolzhaetsya // Avtomatika, svyaz’, informatika. 2024. No. 4. S. 2–3. (In Russian)
4. Charkin E. I. Cifrovaya transformaciya na vernom puti // Avtomatika, svyaz’, informatika. 2023. No. 4. S. 2–4. (In Russian)
5. Deutsche Bahn and Siemens Launch Pilot Project for Predictive Maintenance. Press Release 25 October 2016. URL: <https://press.siemens.com/global/en/pressrelease/deutsche-bahn-and-siemens-launch-pilot-project-predictive-maintenance> (data obrashcheniya: 27.08.2024).
6. Gruppe D. B. S. DB Systemtechnik Activity Report 2018/2019.
7. ORBIS — Network Rail’s Offering Rail Better Information Services. URL:// <https://www.theiet.org/impact-society/factfiles/raeng-and-iet-documents/orbis-network-rail-s-offering-rail-better-information-services> (data obrashcheniya: 27.08.2024).
8. Takikawa M. Innovation in Railway Maintenance Utilizing Information and Communication Technology (Smart Maintenance Initiative) // Japan Railway & Transport Review. 2016. Vol. 67. P. 14.
9. Bystrickij D. V. Social’no-psihologicheskie faktory razrabotki i vnedreniya informacionnyh sistem v OAO “RZHD” // Innovacionnye biznes-processy v menedzhmente OAO “Rossijskie zheleznye dorogi”: razvitie upravlencheskogo instrumentariya / pod red. O. V. Efimovoj, E. B. Baboshina. M.: Prometej, 2023. S. 68–75. (In Russian)
10. Charkin E. I. Obrashchenie // Vestnik cifrovoj transformacii RZHD. 2023. No. 3. S. 1. (In Russian)

Received: 19.11.2024

Accepted: 29.11.2024

УДК 656.073

Метод решения задачи безопасного движения транспорта и пешеходов на основе квантовых и нейροкомпьютерных систем

- Савельев Максим Феликсович** — канд. техн. наук, доцент, и. о. заведующего кафедрой «Информационная безопасность». Область научных интересов: информационные системы, обработка больших данных, моделирование надежности. E-mail: mfsavelev@etu.ru
- Обухов Александр Валерьевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Информационная безопасность». Область научных интересов: информационные системы, обработка больших данных, распределенные вычисления. E-mail: aleks.obuhov@yandex.ru
- Малахова Наталия Сергеевна** — аспирант кафедры «Информационная безопасность». Область научных интересов: информационные системы, обработка больших данных, оптимальные системы сбора данных. E-mail: natashamalakhova95@mail.ru
- Воробьев Евгений Германович** — докт. техн. наук, доцент, профессор кафедры «Информационная безопасность». Область научных интересов: информационные системы, защита информации, моделирование атак. E-mail: vrbyug@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Россия, 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5

Для цитирования: Савельев М. Ф., Обухов А. В., Малахова Н. С., Воробьев Е. Г. Метод решения задачи безопасного движения транспорта и пешеходов на основе квантовых и нейροкомпьютерных систем // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 4 (40). С. 43–49. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-440-43-49

Аннотация. Рассматриваются две проблемы, возникающие в теории оптимальных процессов: 1) задача об управлении динамической системой при условии минимума выбранной оценки интенсивности $\chi [u]$ управляющих усилий; 2) задача о наблюдении, то есть задача о вычислении текущих координат $x_i(t)$ движущегося объекта по доступным измерениям функциям u_j от этих координат. Основное внимание уделено объектам, описываемым линейными уравнениями (для которых, однако, из условий минимума $\chi [u]$ выводятся нелинейные, вообще говоря, законы оптимального управления). Дано решение рассматриваемых задач, опирающееся на методы функционального анализа на основе представления задач наблюдения и принятия решения на основе замыкания управляющего контура на основе квантовых и нейροкомпьютерных технологий. Сформулированы и обоснованы правила минимакса, которые определяют оптимальные управляющие воздействия или оптимальные разрешающие операции в случаях задач об управлении и о наблюдении опасной ситуации на дороге соответственно. Обсуждена двойственность между процессами управления и наблюдения. Установлена связь рассмотренных задач с основными понятиями квантовой теории информации. Описаны численные методы определения оптимальных управляющих усилий. Рассмотрена задача об управлении в конфликтной ситуации возможного наезда беспилотного управляемого объекта на пешехода. Для решения этой задачи предложено правило экстремального оповещения пешехода, обеспечивающее минимакс времени точного реагирования человека. Изучена связь между решением задачи о наблюдении линейного объекта и каноническим разложением по собственным элементам движений динамической системы с последствием. Рассмотрена задача об успокоении возмущенных движений управляемой системы с последствием. Дано решение одной задачи о наблюдении движений линейной системы при случайных помехах.

Ключевые слова: информационные технологии, цифровые технологии, автоматизация, интеграция

1.2.1 — искусственный интеллект и машинное обучение (технические науки), 2.3.1 — системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)

Введение

Национальная технологическая инициатива РФ на 2017–2030 годы определяет внедрение беспилотного автомобильного транспорта. В настоящее время в России и за рубежом разработаны различные виды беспилотного городского и междугороднего легкового, грузового автомобильного транспорта с бортовыми компьютерами с искусственным интеллектом, которые способны решать навигационные задачи. Тем не менее в условиях городского движения часто возникает ситуация, когда пешеход оказывается в условиях возможного наезда и в критической ситуации не может принять быстрое правильное решение. Таким образом, размыкание контура управления ситуацией возникает из-за того, что пешеход не включен в этот контур.

Квантовые вычисления и нейрокompьютерные технологии

Появление квантовой теории информации и квантовых компьютеров знаменует собой появление систем принятия решения, которые никогда не ошибаются в пределах поставленной задачи. Кроме того, разработаны двунаправленные неинвазивные нейрокompьютерные интерфейсы, способные воспринимать информацию напрямую от коры головного мозга и передавать в исполнительную компьютерную систему и наоборот.

Таким образом, появились технологии, способные решить задачу передачи информации о сути опасной ситуации и управляющем сигнале, который нейтрализует опасную ситуацию на дороге. Наибольший эффект данный подход даст при конструировании информационных систем типа «умный квартал», «умный город».

Методология

Теории оптимальных процессов посвящена серия фундаментальных монографий, вышедших в последнее время [1–4].

Как сказано выше, статья посвящена двум вопросам: задачам об управлении и наблюдении в линейных системах. При этом движение управляемой системы трактуется как результат линейной операции, которая выполняется над объектом

благодаря наложению управляющих воздействий. Этот исходный пункт, определивший все исследование, позволяет привлечь к работе аппарат линейной алгебры и функционального анализа. Таким образом, теоремы об управлении и наблюдении оказываются просто следствиями из известных общих математических фактов.

Здесь был заманчив следующий компактный способ изложения: сформулировать задачу сразу в весьма общем и абстрактном виде, а затем, указав ее интерпретацию в терминах функционального анализа, получить из его известных результатов общие теоремы, охватывающие ситуации движения беспилотных автомобилей, отдельные из которых можно было бы привести в форме примеров. В качестве такой весьма общей математической схемы, включающей в себя большое число задач об управлении и наблюдении (в том числе и задач более общего характера, чем рассматриваемые в нашей статье), можно было бы выбрать схему линейного и нелинейного программирования в абстрактных пространствах в тех аспектах, как это изложено, например, в монографии К. Дж. Эрроу, А. Гурвица и Х. Удзавы. При этом было бы естественным ограничиться лишь обсуждением интерпретации содержательных понятий теории управления в терминах данной абстрактной схемы и очертить таким путем круг задач, сводящихся к ней.

В настоящее время наиболее актуальной в проблеме управления механическим движением является задача приведения объекта в требуемое состояние [5].

Рассмотрим два раздела в общей проблеме управления:

I. Задача о программном управлении, где дана исходная информация о начальном состоянии объекта (к началу моменту $t = t_a$) и требуется найти воздействие в виде функции от времени $u = u(t)$ ($t \geq t_a$) так, чтобы в момент окончания процесса $t = t_b$ целевая система оказалась в требуемом состоянии. При этом, как отмечено выше, обычно еще требуется обеспечить желаемое качество процесса.

Примером такой задачи является проблема предельного программного быстрого действия: дано

начальное состояние $t = t_a$, $x(t_a) = x^a$ объекта и указано положение $x(t_\beta) = x^\beta$, в которое необходимо перевести объект; требуется найти воздействие $u = u^0(t)$, удовлетворяющее условию $\|u^0(t)\| \leq \mu$ и переводящее объект в состояние $x(t_\beta) = x^\beta$ за наименьшее возможное время $T = t_\beta - t_a$.

Для указанного типа задач характерно, что дополнительная информация, которая поступает, может быть, в ходе процесса, не используется для коррекции движения с целью улучшения результата, то есть движение осуществляется по жесткой программе $u = u(t)$, составленной заранее. Это ограничивает роль соответствующих результатов и вынуждает рассмотреть проблему в следующем аспекте.

II. Задача о синтезе системы с обратной связью. Здесь наилучший закон управления ищется в форме уравнений, связывающих воздействие u с некоторыми величинами $\{y_1(t), \dots, y_m(t)\}$, доставляющими информацию о текущих состояниях $x(t)$ объекта.

В частном случае, когда возможно быстрое и достаточно точное измерение всех координат $x_i(t)$ вектора $x(t)$, управляющие воздействия u_j определяются обычно в виде функций $u_j = u_j[t, x_1(t), \dots, x_n(t)]$. В нашем случае применима задача II.

Задача управления безопасным движением транспорта и пешеходов на основе квантовых и нейрокомпьютерных систем

Примером может служить задача о столкновении машины и пешехода. В этой задаче даны два объекта, описываемые уравнениями

$$x^{(1)} = f^{(1)}[x_1^{(1)}, \dots, x_k^{(1)}, u_1, \dots, u_r]$$

$$x^{(2)} = f^{(2)}[x_1^{(2)}, \dots, x_k^{(2)}, u_1, \dots, u_r]$$

и изображаемые, следовательно, в некотором k -мерном пространстве точками $x_{(1)}(t) = \{x_i^{(1)}(t)\}$, $x_{(2)}(t) = \{x_i^{(2)}(t)\}$ соответственно.

Предполагается, что первый объект пересекает маршрут движения второго объекта и результатом является совпадение точки $x_i^{(1)}(t)$ с точкой $x_i^{(2)}(t)$; при этом оба объекта стремятся избежать встречи.

Итак, выбор управляющих сил u_j и v_j диктуется желанием избежать момента встречи $t = t_\beta$. Если допустить, что в каждый момент времени t оба объекта знают реализовавшиеся значения $x_i^{(1)}(t)$ и $x_i^{(2)}(t)$, то можно поставить игровую задачу о выборе оптимальных управлений $u^0[x_i^{(1)}(t), x_i^{(2)}(t)]$ (автомобиль) и $v^0[x_i^{(1)}(t), x_i^{(2)}(t)]$ (пешеход), которые ограничены условиями $\|u\| \leq \mu$, $\|v\| \leq \nu$, вычисляются в каждый момент времени t по реализовавшимся на деле значениям $x_i^{(1)}(t)$ и $x_i^{(2)}(t)$, то есть в виде $u^0[x_i^{(1)}(t), x_i^{(2)}(t)]$, $v^0[x_i^{(1)}(t), x_i^{(2)}(t)]$, и обеспечивают минимакс для времени t_β , когда реализуется встреча объектов (наезд) $x_i^{(1)}(t) = x_i^{(2)}(t)$.

Синтез системы с обратной связью требует решения проблемы определения текущих координат $X(t)$ управляемого объекта по наблюдаемым величинам $y_j(t)$. При решении данной проблемы возникает задача мониторинга динамической системы, в ходе которого требуется оптимальное согласование управления и наблюдения с точки зрения конечных результатов процесса, что обеспечивается системами уличного видеонаблюдения и расчета траекторий движения беспилотного транспорта. Системой принятия решения (единственно правильного) должна выступать квантовая машина. Доказательство нулевой ошибки в настоящее время гарантируется билиардной моделью функционирования такой машины.

Предположим, что внешняя система определила, что неизменные траектории движения обоих объектов ведут к неминуемому столкновению. В данной ситуации проблема состоит в том, что объект-автомобиль видит дорожную ситуацию и имеет управляемый процесс изменения траектории, а объект-пешеход может даже не подозревать о неизбежности наезда (например, не видит автомобиля). Для устранения опасной ситуации необходимо своевременно подать осмысленный сигнал управления пешеходу через нейрокомпьютерный интерфейс, позволяющий с учетом времени реакции пешехода реализовать маневр уклонения (например, шаг в сторону), не допускающий реализацию $v^0[x_i^{(1)}(t), x_i^{(2)}(t)]$.

Подход к проблемам управления, отвечающий задачам синтеза оптимальных систем с обратной

связью, развивается по пути, получившему наименование метода динамического программирования [6]. Этот метод соответствует известным в вариационном исчислении рассуждениям о распространении возмущений и приводит к уравнениям типа уравнений Гамильтона – Якоби в частных производных. Теория динамического программирования охватывает многие проблемы оптимального управления как для детерминированных процессов, так и в случайных обстоятельствах, указывая целесообразные пути исследования. Следует подчеркнуть также, что методы ее применяются в форме не только необходимых, но и достаточных условий оптимальности. В последнем случае она смыкается с теорией устойчивости движения.

Одной из трудных и малоразработанных проблем остается краевая задача, связанная с необходимостью привести управляемый объект в заданное конечное состояние. В настоящее время эта краевая задача оказывается часто камнем преткновения на пути конкретного вычисления управляющих воздействий. Дело в том, что известные признаки оптимальности указывают главным образом на внутренние свойства оптимальных движений, описывая их локальное поведение в окрестности каждой точки на данной траектории. В силу этих свойств каждое оптимальное движение разворачивается во времени совершенно определенным образом. Однако направление в пространстве $\{x\}$, в котором может уходить оптимальная траектория из заданного начального состояния $x(t_a) = x^a$, определяется набором некоторых параметров l_1, \dots, l_n . Трудность заключается в таком выборе этих параметров, которые направляют траекторию в нужную точку $x(t_b) = x^b$. Указанная задача управления не имеет пока общего эффективного решения.

Таким образом, для теории управляемых систем и для ее приложений важна задача о построении управляющего воздействия u , которое приводит объект в заданное состояние. При этом целесообразно изучить данную задачу об управлении сначала даже без учета требования оптимальности по тому или иному показателю. В частности, это объясняется тем, что в ряде численных методов оптимальные движения находятся спуском от каких-либо

исходных движений, удовлетворяющих заданным краевым условиям. Итак, материал данной статьи составляет изложение некоторых функциональных подходов к проблемам управления, позволяющих для линейных систем изучить одну из главных конкретных трудностей, связанную с разрешением краевой задачи, особенно в тех случаях, когда выяснение зависимости решений от краевых условий оказывается особенно важным. Это достигается путем применения квантовых вычислений.

Решение задачи оптимального управления

Пусть управляемая система описывается линейным уравнением:

$$\dot{x} = A(t)x + B(t)u + w(t) \quad (1)$$

Заданы отрезок $t_a \leq t \leq t_b$, начальное состояние x^a и многообразие $@$ конечных состояний x^b объекта.

Выбрана интенсивность $\chi[u]$ управления $u(t)$, которая может быть истолкована как норма $p^*[u]$ функции $u(t)$ в пространстве $B\{u\}$. Требуется среди допускаемых управлений $u(t)$ найти оптимальное управление $u^0(t)$, переводящее систему (1) из состояния $x(t_a) = x^a$ в какую-нибудь точку $x(t_b) = x^b$ из заданного многообразия $@$ и имеющее при этом наименьшую возможную норму $p^*[u^0]$.

Пусть в данной задаче многообразии $@$ $\{x^b\}$ возможных конечных состояний x^b составляет гиперплоскость $x_i(t_b) = x_i^b (i = 1, \dots, m < n)$. Это означает, что краевым условиям $x_i(t_b) = x_i^b$ должны удовлетворять лишь первые m координат и что остальные координаты могут, следовательно, принимать в момент t_b любые значения. Но тогда задача сводится к определению такого управления $u^0(t)$, $v^0(t)$ и, главное, $v^0(u^0(t))$, которое удовлетворяет лишь первым m уравнениям (1) и имеет при этом минимальную интенсивность $\chi [u^0]$. Таким образом, в рассматриваемом случае получается проблема моментов для первых m функций, для решения которой следует воспользоваться уже известными правилами [7, 8].

Теорема: задача имеет решение тогда и только тогда, когда для минимальной функции $h^0(\tau)$ выполняется условие $p[h^0] = p^0 > 0$. Интенсивность оптимального управления $\chi[u^0]$ удовлетворяет

равенству $\chi[u^0] = 1/\rho^0$, и это управление обладает свойством максимума:

$$\int_{t_\alpha}^{t_\beta} h^{0'}(\tau) u^0(\tau) d\tau = \max_u \int_{t_\alpha}^{t_\beta} h^{0'}(\tau) u(\tau) d\tau$$

при $\rho^*[u] = 1/\rho^0$.

Опираясь на эту теорему, приведем правило для решения задачи I. Прежде всего, выпишем явное выражение для вектор-функций:

$$h(\tau) = \sum_{i=1}^n l_i h^{[i]}(\tau),$$

среди которых ищется минимальная функция $h^0(\tau)$. Вводя обозначение l для вектора-столбца с компонентами l_i ($i = 1, \dots, n$) и вспоминая, что $h^{[i]}(\tau)$ суть строки $h^{[i]}[t_\beta, \tau]$ матрицы $H[t_\beta, \tau]$, получим для вектора-строки $h'(\tau)$ следующую матричную запись:

$$h'(\tau) = l'H[t_\beta, \tau]$$

Далее имеем:

$$H[t_\beta, \tau] = X[t_\beta, \tau]B(\tau)$$

Так как, наконец,

$$X[t, \tau] = X^{-1}[\tau, t],$$

то окончательно получим:

$$h'(\tau) = l'X^{-1}[\tau, t_\beta]B(\tau)$$

Транспонируя $h'(\tau)$ по свойствам матричных произведений, найдем:

$$h(\tau) = B'(\tau)[X^{-1}[\tau, t_\beta]]'l$$

Тогда

$$s(\tau) = [X^{-1}[\tau, t_\beta]]'l = S[\tau, t_\beta]l$$

при заданном l есть не что иное, как некоторое частное решение уравнения. Более того, при $\tau = t_\beta$ имеем $s(t_\beta) = l$. Но тогда оказывается, что множество вектор-функций $h(\tau)$ определяется равенством:

$$h(\tau) = B'(\tau) s(\tau),$$

где вектор-функции $s(\tau)$ суть всевозможные решения системы управления. Смысл задачи заключается, следовательно, в том, чтобы из всех движений сопряженной системы выбрать минимальное движение $s^0(\tau)$.

Поскольку именно вычисление всех возможных решений задачи матричных вычислений является сложной задачей, она с трудом решается на обычных компьютерах. В то же время для квантовых ЭВМ данная задача таковой не является и может быть решена практически мгновенно [9, 10]. Программирование задачи может быть выполнено на девяти существующих квантовых языках программирования.

Заключение

На автомобильном транспорте квантовые технологии и вычисления, а также нейрокомпьютерный интерфейс целесообразно применять в следующих основных направлениях:

- создание квантовой системы принятия решений об опасных ситуациях на дороге;
- внедрение квантовых вычислений в совершенствование технологий управления беспилотным транспортом;
- использование квантовых технологий для решения сложных оптимизационных задач;
- применение неинвазивных нейрокомпьютерных интерфейсов для включения пешеходов в контур управления безопасным движением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. The Digital Economy in Russia. Part 1 // Anna Maria Rada Leenders' Blog. 2018. 16 August. URL: <http://russiancouncil.ru/en/blogs/leenders/the-digital-economy-in-russia-part-1/> (дата обращения: 28.05.2024)..
2. Quantum Initiatives Worldwide 2024 // Qureca. 2024. 01 April. Updated 18 June 2024. URL: <http://www.quireca.com/quantum-initiatives-worldwide> (дата обращения: 24.06.2024).
3. Quantum Technologies in Russia / A. K. Fedorov [et al.] // Quantum Science and Technology. 2019. Vol. 4, iss. 4. Art. No. 040501. 8 p. DOI: 10.1088/2058-9565/ab4472

4. Кобзев С. А. О приоритетах в инновационной деятельности ОАО «РЖД» // Железнодорожный транспорт. 2019. № 2. С. 29–36.
5. Чаркин Е. И. Новая технологическая реальность // Автоматика, связь, информатика. 2018. № 1. С. 2–5.
6. Pokrovskaya O. D., Panychev A. Y., Khramtsova E. R. Digitalization of the Transport Industry in Russia: Trends, Drivers, Potential // Problems of Enterprise Development: Theory and Practice (PEDTR 2019): Proceedings of the 18th International Scientific Conference (Samara, Russia, 19–20 December 2019). European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. 2020. Vol. 82. P. 341–349. DOI: 10.15405/epsbs.2020.04.44
7. Семион К. В. Стратегия цифровой трансформации // Автоматика, связь, информатика. 2019. № 4. С. 5–6.
8. Розенберг Е. Н., Уманский В. И., Дзюба Ю. В. От систем автоматизации к интеллектуальным системам управления // Автоматика, связь, информатика. 2017. № 11. С. 7–11.
9. Урусов А. В. Цифровая железная дорога // Автоматика, связь, информатика. 2018. № 1. С. 6–8.
10. Tapscott D. Grown Up Digital: How the Net Generation is Changing Your World. New York: McGraw-Hill, 2009. 384 p.

Дата поступления: 10.06.2024

Решение о публикации: 11.11.2024

A Method for Solving the Problem of Safe Traffic and Pedestrians Based on Quantum and Neurocomputer Systems

Maxim F. Saveliev

— PhD in Engineering, Associate Professor, Acting Head of the Department of Information Security. Research interests: information systems, big data processing, reliability modeling. E-mail: mfsavelev@etu.ru

Alexander V. Obukhov

— PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Information Security. Research interests: information systems, big data processing, distributed computing. E-mail: aleks.obuhov@yandex.ru

Natalia S. Malakhova

— Postgraduate Student of the Department of Information Security. Research interests: information systems, big data processing, optimal data collection systems. E-mail: natashamalakhova95@mail.ru

Evgeny G. Vorobyov

— Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Information Security. Research interests: information systems, information security, attack modeling. E-mail: vrbyug@mail.ru

Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”, 5, Prof. Popov str., St. Petersburg, 197376, Russia

For citation: Saveliev M. F., Obukhov A. V., Malakhova N. S., Vorobyov E. G. A Method for Solving the Problem of Safe Traffic and Pedestrians Based on Quantum and Neurocomputer Systems // Intellectual Technologies on Transport. 2024. № 4 (40). Pp. 43–49. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-440-43-49. (In Russian)

Abstract. *The article discusses two problems arising in the theory of optimal processes: 1) controlling a dynamical system under the condition of a minimum of the selected estimate of the intensity $\chi [u]$ of the control forces; 2) observation, i.e. calculating the current coordinates — $x_i(t)$ of a moving object from the measurable functions y_j from these coordinates. The main attention is paid to objects described by linear equations (for which, however, nonlinear laws of optimal control are derived from the minimum conditions $\chi[u]$). The solution of the problems under consideration is given, based on the methods of functional analysis based on the representation*

of observation problems and decision-making based on the closure of the control circuit based on quantum and neurocomputer technologies. Minimax rules are formulated and substantiated, which determine the optimal control actions or optimal resolving operations in cases of control and observation of a dangerous situation on the road, respectively. The duality between the processes of control and observation is discussed. The connection of the considered problems with the basic concepts of quantum information theory is established. Numerical methods for determining optimal control forces are described. The connection of the considered problems with the basic concepts of quantum information theory is established. Numerical methods for determining optimal control forces are described. The problem of control in a conflict situation of a possible collision of an unmanned controlled object with a pedestrian is considered. To solve this problem, a rule of extreme pedestrian warning is proposed, which provides a minimum of time for an accurate human response. The relationship between the solution of the problem of observation of a linear object and the canonical decomposition by Eigen elements of the motions of a dynamic system with an aftereffect is studied. The problem of calming the disturbed movements of the controlled system with the aftereffect is considered. A solution to one problem of observing the motions of a linear system under random interference is given.

Keywords: information technology, digital technology, automation, guide, integration

REFERENCES

1. The Digital Economy in Russia. Part 1 // Anna Maria Rada Leenders' Blog. 2018. 16 August. URL: <http://russian-council.ru/en/blogs/leenders/the-digital-economy-in-russia-part-1/> (data obrashcheniya: 28.05.2024).
2. Quantum Initiatives Worldwide 2024 // Qureca. 2024. 01 April. Updated 18 June 2024. URL: <http://www.quireca.com/quantum-initiatives-worldwide> (data obrashcheniya: 24.06.2024).
3. Quantum Technologies in Russia / A. K. Fedorov [et al.] // Quantum Science and Technology. 2019. Vol. 4, iss. 4. Art. No. 040501. 8 p. DOI: 10.1088/2058-9565/ab4472
4. Kobzev S. A. O prioritetah v innovacionnoj deyatelnosti OAO "RZHD" // Zheleznodorozhnyj transport. 2019. No. 2. S. 29–36. (In Russian)
5. Charkin E. I. Novaya tekhnologicheskaya real'nost' // Avtomatika, svyaz', informatika. 2018. No. 1. S. 2–5. (In Russian)
6. Pokrovskaya O. D., Panychev A. Y., Khrantsova E. R. Digitalization of the Transport Industry in Russia: Trends, Drivers, Potential // Problems of Enterprise Development: Theory and Practice (PEDTR 2019): Proceedings of the 18th International Scientific Conference (Samara, Russia, 19–20 December 2019). European Proceedings of Social and Behavioural Sciences. 2020. Vol. 82. P. 341–349. DOI: 10.15405/epsbs.2020.04.44.
7. Semion K. V. Strategiya cifrovoj transformacii // Avtomatika, svyaz', informatika. 2019. No. 4. S. 5–6. (In Russian)
8. Rozenberg E. N., Umanskij V. I., Dzyuba Yu. V. Ot sistem avtomatiki k intellektual'nym sistemam upravleniya // Avtomatika, svyaz', informatika. 2017. No. 11. S. 7–11. (In Russian)
9. Urusov A. V. Cifrovaya zheleznaya doroga // Avtomatika, svyaz', informatika. 2018. No. 1. S. 6–8. (In Russian)
10. Tapscott D. Grown Up Digital: How the Net Generation is Changing Your World. New York: McGraw-Hill, 2009. 384 p.

Received: 10.06.2024

Accepted: 11.11.2024

УДК 519.876.5

Обзор проектов с использованием технологии программных роботов

- Хороших Варвара Юрьевна** — магистрант 1-го курса направления 09.04.02 «Информационные системы и технологии». Область научных интересов: программные роботы. E-mail: varia.khorohiyv@yandex.ru
- Руссу Юлия Витальевна** — магистрант 1-го курса направления 09.04.02 «Информационные системы и технологии». Область научных интересов: программные роботы. E-mail: mio.kiokoko@yandex.ru
- Надеева Миля Ренатовна** — магистрант 1-го курса направления 09.04.02 «Информационные системы и технологии». Область научных интересов: программные роботы. E-mail: milyanadeeva@yandex.ru
- Баталов Дмитрий Иннокентьевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Информационные и вычислительные системы». Область научных интересов: информационные системы, обработка больших данных, программные роботы. E-mail: d.i.batalov@yandex.ru

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Хороших В. Ю., Руссу Ю. В., Надеева М. Р., Баталов Д. И. Обзор проектов с использованием технологии программных роботов // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 4 (40). С. 50–58. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-440-50-58

Аннотация. Рассматриваются проекты, использующие технологии программных роботов (RPA) в области транспорта, образования и геологии. Особое внимание уделяется их значимости в автоматизации рутинных операций. **Цель:** демонстрация практического опыта использования RPA для повышения эффективности работы в различных сферах деятельности. **Методы:** представлены три примера реализации программных роботов: автоматизация обработки заявок в СПб ИВЦ РЖД, формирование курсов дисциплин в системе дистанционного обучения (СДО) в вузе и перенос данных между системами геологоразведки. **Практическая значимость:** описаны использованные технологии и методы разработки. Подчеркнута универсальность применения RPA, дана оценка эффективности внедрения программных роботов. Обсуждаются перспективы развития технологии программных роботов для решения задач с высокой степенью вариативности.

Ключевые слова: программные роботы, RPA, роботизированная автоматизация процессов, роботизация в образовании, роботизация на транспорте, геологоразведка, цифровая трансформация

1.2.1 — искусственный интеллект и машинное обучение (технические науки); 2.3.5 — математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей обеспечение (технические науки)

Введение

Стремительная цифровизация трансформирует различные сферы деятельности, автоматизируя рутинные операции и активно используя технологию роботизированной автоматизации процессов

(RPA). Это одна из наиболее динамично развивающихся областей информационных технологий, которая приобретает особую актуальность на транспорте, в образовании и геологии.

Внедрение RPA становится стратегически важным инструментом для повышения конкурентоспособности и снижения издержек. Статья посвящена анализу практического опыта разработки программных роботов и демонстрирует широкий спектр возможностей RPA и разнообразие сфер его применения, подчеркивая значимость этой технологии для оптимизации рутинных процессов.

Общее представление о программных роботах

Программные роботы (RPA) — это технология, имитирующая действия пользователя в графическом интерфейсе (GUI) путем наблюдения за его работой и записи последовательности выполняемых операций. Этот подход к автоматизации позволяет взаимодействовать с приложениями, для которых прямая интеграция затруднена или невозможна по техническим причинам, например, из-за отсутствия API, закрытого кода или устаревшей архитектуры [1].

Технология RPA устраняет неэффективные затраты человеческих ресурсов, которые расходуются впустую при выполнении повседневных задач. Программная роботизация — это подмножество бизнес-процессов, предназначенное для выполнения действий и рабочих задач с минимальным вмешательством человека.

Среди методов, использующихся при разработке программных роботов, выделяют следующие:

1. Имитация действий пользователя (автоматизация графического интерфейса). Работа на уровне GUI обеспечивает взаимодействие роботов с любой системой, независимо от наличия API, делая их универсальным инструментом автоматизации.

2. Использование скриптов. Скрипты — это простые программные сценарии, выполняющие определенные задачи.

3. Интеграция через API. Если система поддерживает API, робот может взаимодействовать с ней напрямую через ее встроенные программные интерфейсы. Этот метод, хотя и требует высокой технической квалификации, обеспечивает более стабильную и эффективную интеграцию.

4. Оптическое распознавание символов (OCR). Для работы с неструктурированными данными или текстами, представленными в виде изображений или PDF-файлов, используется OCR, позволяющий роботам извлекать и преобразовывать текст в машиночитаемый формат.

5. Машинное обучение и искусственный интеллект (AI/ML). Некоторые платформы RPA поддерживают AI/ML, что позволяет роботам обучаться на основе данных и со временем улучшать выполнение задач. Это особенно важно для процессов с высокой степенью неопределенности или вариативности, таких как анализ данных, прогнозирование или обработка естественного языка.

Практика применения программных роботов для автоматизации обработки заявок на привязку услуг в СПб ИВЦ РЖД

ОАО «Российские железные дороги» (РЖД) — это государственная компания, управляющая железнодорожным транспортом в России. Она была создана в 2001 году и отвечает за эксплуатацию, модернизацию и развитие железнодорожной инфраструктуры.

РЖД управляет как пассажирскими, так и грузовыми перевозками, а также занимается ремонтом и строительством железнодорожных путей, станций и других объектов. Компания играет ключевую роль в экономике страны, обеспечивая связность и транспортировку пассажиров и товаров.

Современные технологии стремительно трансформируют бизнес-стратегии, предлагая возможности такого масштаба и скорости, которые были недоступны ранее. Одной из таких возможностей является оптимизация работы персонала, ключевым элементом которой является подключение сотрудников с помощью роботизированной автоматизации процессов.

Начиная с 2018 года в Главном вычислительном центре (ГВЦ) ОАО «РЖД» проводились разработки по автоматизации рутинных операций. Основными предпосылками и мотивацией для реализации проекта стали значительные объемы данных о деятельности компании и пользователях информационных систем, которые сотрудникам

Информационно-вычислительного центра (ИВЦ) ОАО «РЖД» необходимо было вводить в электронные документы.

В РЖД работает около 500 информационных систем и 240 тыс. пользователей. 9500 контрагентов ведут с ОАО «РЖД» электронный документооборот. Технической поддержкой занимаются 4,5 тыс. ИТ-специалистов ГВЦ, расположенных в 16 ИВЦ от Хабаровска до Калининграда. Анализ обращений пользователей показал, что более 70 % запросов — повторяющиеся и однотипные. В год обрабатывается до 7 млн запросов [2].

Целью проекта роботизации стало повышение операционной эффективности ОАО «РЖД» за счет увеличения скорости работы и снижения затрат бэк-офиса в связи с роботизацией рутинных операций.

К 2023 году процесс роботизации в ОАО «РЖД» с использованием RPA-технологий прошел ряд этапов, в течение которых были реализованы несколько проектов с нарастающей сложностью поставленных целей и задач. Для каждого из проектов были выполнены подбор и обоснование решений и технологий, предпринимались организационные, технические и кадровые меры. Ежегодно подводились итоги, анализировались достигнутые результаты и формировались планы на будущие периоды [3].

На данный момент ГВЦ ОАО «РЖД» ведется проект «Агрессивная роботизация», нацеленный на увеличение количества разрабатываемых программных роботов, а также запущена реализация проекта по цифровой трансформации непосредственно самого ГВЦ. Целью разрабатываемого робота выбрана автоматизация отработки заявок на привязку услуг в модуле нормативно-справочной информации (НСИ) [4, 5].

Рассмотрим некоторые термины и определения, используемые для понимания специфики работы робота.

Мандант — с точки зрения организационной структуры это высший уровень организационной структуры предприятия; с точки зрения расположения данных логическая область на сервере с данными и программами, поэтому говорят, что

«будем работать в тестовом манданте, продуктивном манданте, манданте тиражирования».

Балансовая единица (БЕ) — независимая хозяйственная единица с самостоятельным балансом, входящая в структуру манданта. В системе балансовая единица имеет 4-значный код. Для каждого манданта выделен свой диапазон номеров БЕ.

Закупочная организация — организационная единица, отвечающая за закупку материалов или услуг для одного или нескольких заводов и проведение переговоров с поставщиком об общих условиях закупки. Закупочная организация присваивается балансовой единице. В системе закупочная организация имеет 4-значный код, совпадающий с кодом БЕ.

Завод — это организационная единица, служащая для разделения предприятия в соответствии с аспектами производства, заготовки, технического обслуживания и ремонта, а также планирования потребности в материалах. Например, завод — место расположения производства в рамках балансовой единицы. В системе завод имеет буквенно-цифровой 4-значный код. Для каждого манданта выделен свой диапазон номеров заводов (рис. 1).

В ОАО «РЖД» работают две большие ERP-системы: ЕК АСУФР (Единая корпоративная автоматизированная система управления финансами и ресурсами) и ЕК АСУТР (Единая корпоративная автоматизированная система управления трудовыми ресурсами).

С помощью ЕК АСУФР специалисты ОАО «РЖД» контролируют в режиме реального времени все ключевые показатели деятельности в области финансов, имущества, материально-технического снабжения и т. д.

Управление персоналом — ЕК АСУТР — обеспечивает функции нормирования труда, учета рабочего времени, расчета заработной платы и т. д.

На рис. 2 изображена условная схема модульной структуры системы «Управление финансами».

Все модули интегрированы между собой, то есть данные, получаемые в одном модуле, доступны для дальнейшей обработки в других.

Нормативно-справочная информация едина для всего манданта: план счетов, дебиторы, кредиторы,

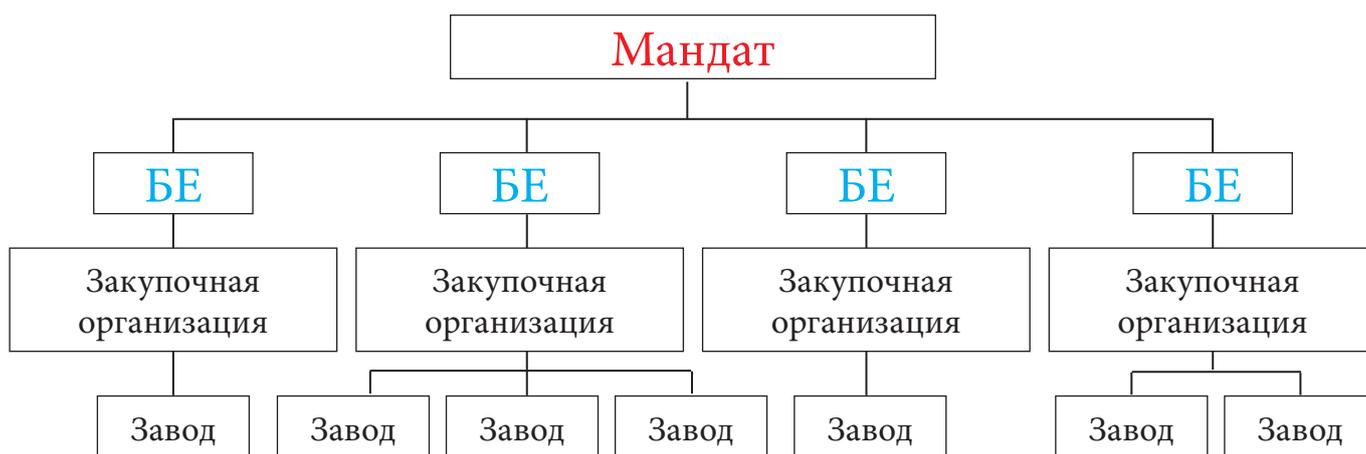


Рис. 1. Организационная структура предприятия

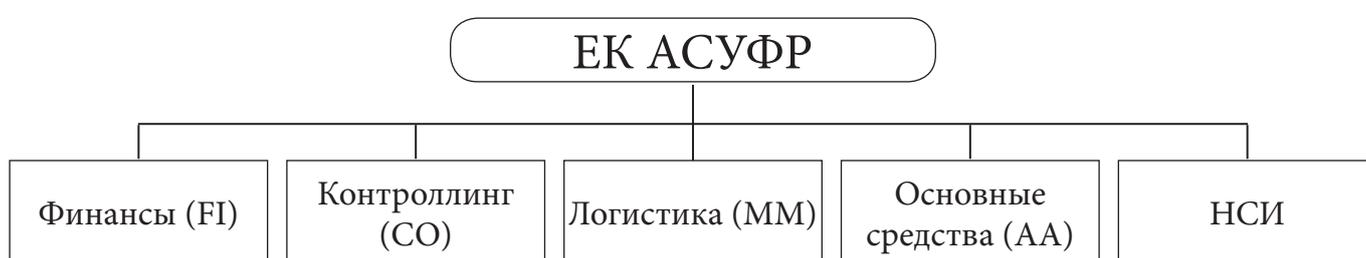


Рис. 2. Условная схема модульной структуры системы «Управление финансами»

материалы. Каждая БЕ производит настройку: выполняет привязку к БЕ дебиторов, кредиторов, материалов и услуг.

Рассмотрим работы с электронными заявками по работе с услугами, сопровождаемыми модулем НСИ подробнее.

В системе обеспечено ведение электронных заявок на создание записи в справочнике услуг. Позиция заявки представляет собой запись, содержащую в себе характеристики, достаточные для корректного определения основных данных услуги (описание, единицы измерения, признаки сертификации и классификации).

В работе с электронной заявкой пользователь выполняет операции в следующей последовательности:

1. Поиск услуги в системе первичного учета.
2. Определение услуги на заводе и рынке сбыта при успешном поиске нужной записи в своей системе первичного учета. В данном случае создается электронная заявка на определение услуги в структурном подразделении. Заявке присваива-

ется уникальный номер. Далее пользователь создает обращение с помощью Единой службы поддержки пользователей (ЕСПП) или виртуального консультанта (ВиКо) для проверки заявки администратором НСИ. Согласование позиций заявки осуществляется специалистом, ответственным за корректный ввод данных по закупочным, сбытовым и бухгалтерским данным. Согласование заявки осуществляется как на уровне структурного подразделения, так и на уровне центральной дирекции/службы, для которой предусматриваются и операции добавления позиций для БЕ, входящих в состав дирекции/службы. При сохранении проверенных и откорректированных данных позиции заявки получают статус «Согласовано».

3. Поиск услуги в централизованном справочнике услуг осуществляется в том случае, если в Системе первичного учета (СПУ) отсутствует требуемая услуга.

4. Формирование электронной заявки на определение услуги в СПУ проводится в том случае, если код услуги уже существует в Централизованной

нормативно-справочной информации (ЦНСИ). Дальнейшие действия пользователя описаны в пункте 2.

5. Формирование электронной заявки на создание новой услуги проводится в том случае, если требуемой услуги нет ни в СПУ, ни в ЦНСИ.

На данный момент обработка заявок по привязке услуг осуществляется в последовательности шагов, описанных в пункте 2.

Ведутся работы по автоматизации этого процесса как в структурном подразделении, так и в системе первичного учета. С внедрением программного робота данный процесс автоматизируется и выглядит следующим образом.

Пользователь отправляет заявку на утверждение администратору НСИ с помощью ВиКо. Данная функция уже активно используется в рабочей группе, сформированное обращение в ЕСПП распределяется на автоисполнителя-робота. После взятия обращения в работу в порядке очереди робот переходит в систему АСУФР и проверяет заявку на точность заполнения полей по заданным критериям, которые прописал разработчик. Например, поле «ИдНалога/Материал», обозначающее код налоговой классификации, для услуги заполняется буквенным обозначением, а для материалов — цифровым. Пользователь может запутаться и поставить цифровое обозначение для услуги.

Если в заявке все заполнено корректно, то робот согласовывает. Если же найдены неточности, то направляет в пул обращений рабочий группы, для того чтобы администратор НСИ далее начал работу с данным обращением.

Автоматизация такого процесса с помощью робота позволит получить более точное выполнение задачи, а также сократить время на обработку операции по сбору данных. Робот выполняет повторяющиеся действия, а сотрудник получает возможность сосредоточиться на своих основных функциональных обязанностях. Это очень важно с точки зрения не только точности выполнения задания специалистом, но и сохранения работоспособности специалиста в течение рабочего времени.

Практическое применение технологии программных роботов для формирования курсов дисциплин в системе дистанционного обучения

В условиях современного образования, где требования к качеству и скорости обработки информации постоянно растут, существует ряд проблем, требующих инновационных решений. Количество однотипных, повторяющихся административных задач постоянно растет, что приводит к повышению нагрузки на преподавателей, увеличению вероятности человеческих ошибок и не может не сказываться на качестве преподавания.

Для повышения эффективности работы задачи, выполняющиеся многократно и требующие повторения однотипных действий, могут быть автоматизированы с помощью программных роботов.

По мере того как образовательный сектор становится все более конкурентноспособным, цифровая трансформация становится необходимым средством выживания, поскольку цифровой мир требует от педагогов адаптации и внедрения новых технологий и методик, является неотъемлемой частью развития образовательных учреждений ввиду их схожести с другими коммерческими организациями [6].

Процессы, которые возможно автоматизировать с помощью RPA, включают, помимо прочего, и автоматизацию внутреннего ресурса инженерного вуза ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщений» — системы дистанционного обучения (СДО ПГУПС).

Работа системы дистанционного обучения подразумевает полный набор сервисов как для преподавателей, так и для студентов: создание, управление и оценка учебного процесса, размещение материалов различных видов, использование инструментов обратной связи, проведение тестирований и т. д.

В контексте задач, решаемых программными роботами в рамках автоматизации системы дистанционного обучения, может выступать создание и управление контентом, обеспечение его актуальности и доступности для учащихся.

Размещение конспектов, методических рекомендаций, презентаций, их форматирование и ежегодная актуализация являются рутинными процессами для преподавателей, что дает возможность автоматизации формирования курса дисциплины в СДО ПГУПС посредством использования программных роботов.

Для создания логически структурированного алгоритма, который бы обеспечил корректную работу робота и дал возможность эффективно выполнять поставленные задачи, используются методы автоматизации графического интерфейса, эмуляция нажатия клавиш, движений мыши и взаимодействия с элементами веб- или десктоп-приложений.

В процессе создания программного робота существует несколько этапов, начиная с анализа текущих процессов и определения целей автоматизации и заканчивая тестированием и вводом в эксплуатацию. Важно выявить те аспекты деятельности, которые наиболее подвержены повторениям и могут быть заменены роботом без ущерба для качества образовательного процесса.

При казалось бы таком простом действии, как загрузка файла, преподаватель затрачивает значительную часть рабочего времени в силу объема информации, которую необходимо разместить в курсе дисциплины. Открыть курс, создать новый элемент в соответствующем разделе, сопоставить

формат файла с внутренним ресурсом в СДО, заполнить необходимую для корректного отображения материала информацию, прикрепить файл и только потом сохранить. Принимая во внимание многократность повторения этого действия, преподавательское время тратится нерационально.

Из вышеперечисленного можно определить некоторые функции, которые должны быть у программного робота для формирования курса дисциплины в СДО ПГУПС (рис. 3).

Таким образом, использование роботизированной автоматизации процессов в системе дистанционного обучения расширит возможности для цифровой трансформации образовательного процесса, способствуя его улучшению как для преподавателей, так и для студентов.

Оценка использования программных роботов для автоматизации переноса данных между программными комплексами интерпретации геолого-геофизических и промысловых данных

Геологоразведка — это совокупность процессов изучения геологической структуры земли с целью поиска полезных ископаемых, нефти, природного газа и других природных ресурсов.

В современных реалиях эта отрасль играет одну из ключевых ролей в экономике мира, обеспечении

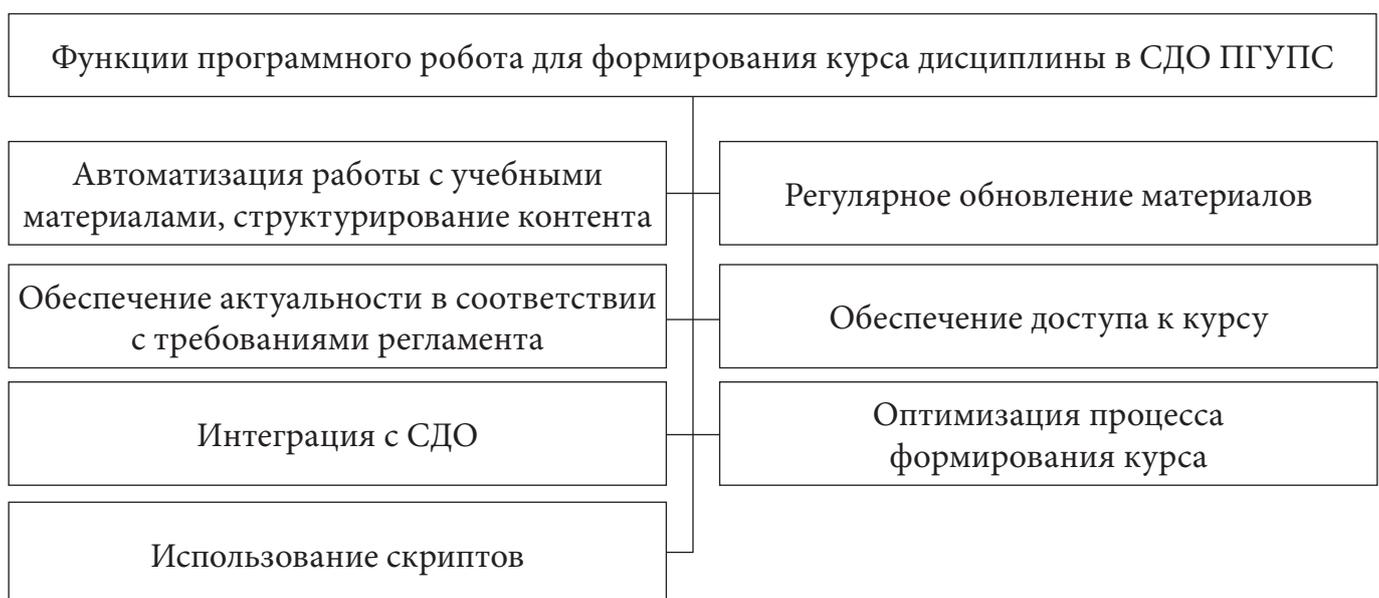


Рис. 3. Функции программного робота для формирования курса дисциплины

его энергией и сырьем. По данным на 1 января 2023 года, количество извлекаемых запасов нефти достигло цифры 31,4 млрд т, природного газа и конденсата — 68,2 трлн куб. м. Российская Федерация занимает третье место в мире по добыче и экспорту нефти и второе место по добыче и экспорту газа [7].

Однако традиционные методы разведки требуют больших финансовых и временных затрат. С появлением программных роботов процесс геологоразведки стал эффективнее и точнее за счет оптимизации рутинных рабочих процессов, позволяя сделать нефтегазодобычу более результативной, гибкой и прибыльной.

В настоящее время технология RPA широко используется в таких сферах геолого-геофизических работ, как:

- бурение скважин;
- полевые работы;
- мониторинг работы трубопроводов;
- оптимизация нефтегазодобычи.

Также существует множество других секторов области использования RPA, с помощью которых повышается продуктивность деятельности организаций (рис. 4).

Слепой зоной для использования роботизированной автоматизации процессов остается по-

строение геологических и гидродинамических 3D-моделей месторождений. Сейчас основными программными комплексами для создания такого рода моделей является программное обеспечение Petrel от компании Schlumberger и RMS от компании Roxar. Однако в РФ также активно разрабатываются свои программные комплексы ПО «Геоплат» и ПО «Т-навигатор», которые являются полными аналогами зарубежного ПО. Разработка RPA-программы позволит ускорить и автоматизировать процесс переноса геолого-геофизических и промысловых данных с зарубежного ПО на отечественное.

Роботизированная автоматизация процессов позволит оптимизировать загрузку исходных las-файлов, производить автоматическую корреляцию скважинных данных по уже имеющимся стратиграфическим отбивкам и данных опробования, произведенного на месторождении, построение структурных карт, петрофизических и фациальных кубов.

Таким образом, создание подобного программного робота позволит оптимизировать процесс переноса данных с зарубежного ПО, а также автоматизировать процесс построения моделей месторождения, что, в свою очередь, позволит

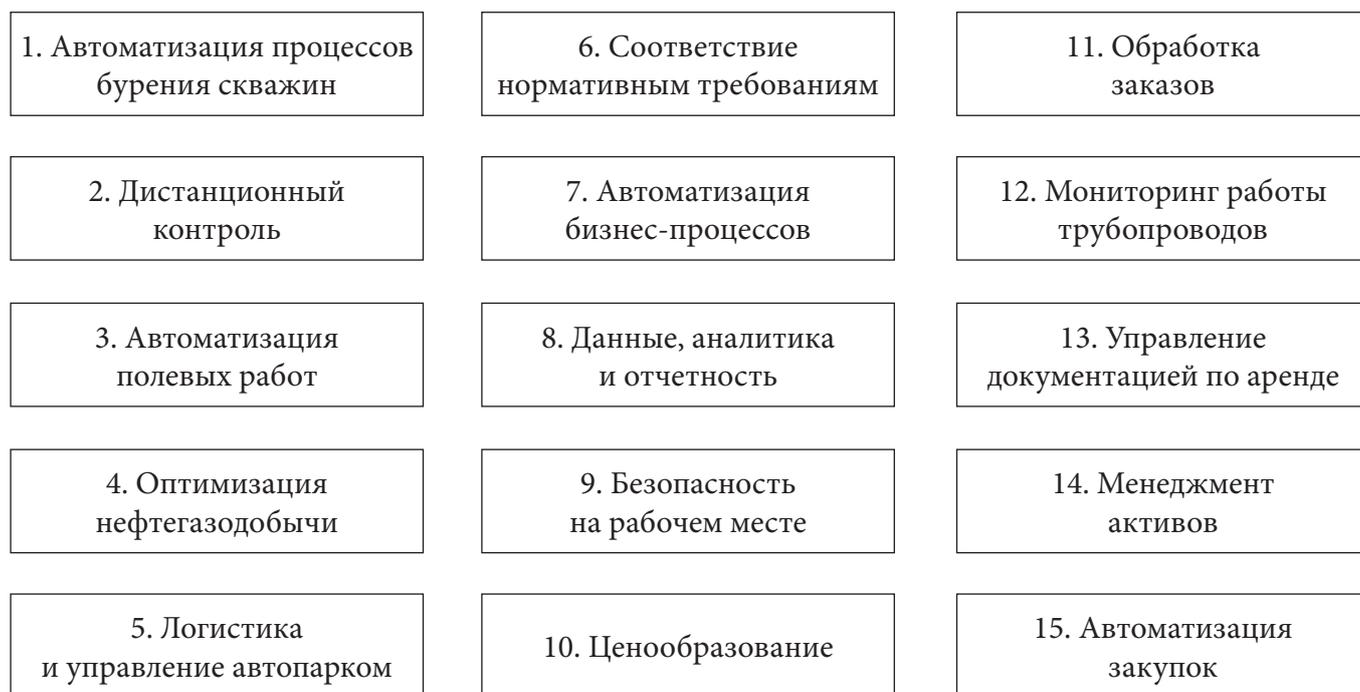


Рис. 4. Секторы применения технологии RPA в нефтегазовой отрасли [8]

сократить время и перенаправить человека на более сложные задачи.

Заключение

В статье проведен обзор проектов практического применения технологии RPA кафедры «Информационные и вычислительные системы» ФГБОУ ВО ПГУПС, демонстрирующий потенциал программных роботов в различных сферах деятельности.

Результаты данной работы могут быть использованы организациями, планирующими внедрение RPA, для оценки его возможностей и выбора наиболее эффективных решений.

Дальнейшие исследования в области RPA будут направлены на разработку более сложных и интеллектуальных роботов, способных решать широкий круг задач и адаптироваться к изменяющимся условиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузьмин А. А. RPA — современная технология автоматизации бизнес-процессов // Наука и образование сегодня. 2020. № 5 (52). С. 8–9.
2. Ермаков С. Г., Баталов Д. И., Мельников И. С. Использование платформы Robin RPA в процессе цифровой трансформации транспортных компаний // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2023. № 1 (33). С. 5–14. DOI: 10.24412/2413-2527-2023-133-5-14
3. Реализация проекта по роботизации рутинных операций для повышения операционной эффективности компании / Ю. Н. Степанов [и др.] // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2023. № 3 (35). С. 14–21. DOI: 10.24412/2413-2527-2023-335-14-21
4. Ведение электронной заявки на ввод услуг 52833784 00982.000-2 12 И12-01-УС: операционная инструкция от 30.11.2011. М.: ОАО «РЖД», 2012. 63 с.
5. Обработка электронной заявки на ввод услуг 52833784 00982.000-2 12 И12-УС-02: операционная инструкция от 30.11.2011. М.: ОАО «РЖД», 2012. 35 с.
6. Palanivel K., Suresh J. K. Robotic Process Automation to Smart Education // International Journal of Creative Research Thoughts. 2020. Vol. 8. No. 6. P. 3775–3784.
7. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2022 году. URL: <https://rosnedra.gov.ru/activity/documents/gosudarstvennyy-doklad-2022/> (дата обращения: 18.10.2024).
8. 15 Disruptive Use Cases of RPA in Oil & Gas Industry. URL: <https://www.birlasoft.com/articles/15-disruptive-rpa-use-cases-in-oil-gas-industry> (дата обращения: 18.10.2024).

Дата поступления: 23.11.2024

Решение о публикации: 25.11.2024

Overview of Projects Using Software Robot Technology

- Varvara Yu. Khoroshikh** — 1st year Master's Degree Student of the 09.04.02 direction "Information systems and technologies". Research interests: software robots. E-mail: varia.khorohiyv@yandex.ru
- Yuliya V. Russu** — 1st year Master's Degree Student of the 09.04.02 direction "Information systems and technologies". Research interests: software robots. E-mail: mio.kiokoko@yandex.ru
- Milya R. Nadeeva** — 1st year Master's Degree Student of the 09.04.02 direction "Information systems and technologies". Research interests: software robots. E-mail: milyanadeeva@yandex.ru
- Dmitriy I. Batalov** — PhD in Engineering, Associate Professor of the Department "Information systems and technologies". Research interests: information systems, big data processing, software robots. E-mail: d.i.batalov@yandex.ru

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., St. Petersburg, 190031, Russia

For citation: Khoroshikh V. Yu., Russu Yu. V., Nadeeva M. R., Batalov D. I. Overview of Projects Using Software Robot Technology // Intellectual Technologies on Transport. 2024. № 4 (40). Pp. 50–58. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-440-50-58. (In Russian)

Abstract. Projects using software robot (RPA) technologies in the fields of transport, education and geology are being considered. Special attention is paid to their importance in automating routine operations. **Purpose:** to demonstrate the practical experience of using RPA to improve work efficiency in various fields of activity. **Methods:** three examples of the implementation of software robots are presented: automatization of application processing in St. Petersburg and Russian Railways, the formation of discipline courses in the distance learning system (SDE) at the university and the transfer of data between exploration systems. **Practical significance:** the technologies and development methods used are described. The universality of the RPA application is emphasized, and the effectiveness of the implementation of software robots is assessed.

Keywords: software robots, RPA, robotic automation of processes, robotics in education, robotics in transport, geological exploration, digital transformation

REFERENCES

1. Kuz'min A. A. RPA — sovremennaya tekhnologiya avtomatizatsii biznes-processov // Nauka i obrazovanie segodnya. 2020. No. 5 (52). S. 8–9. (In Russian)
2. Ermakov S. G., Batalov D. I., Mel'nikov I. S. Ispol'zovanie platformy Robin RPA v processe cifrovoj transformatsii transportnykh kompanij // Intellektual'nye tekhnologii na transporte. 2023. No. 1 (33). S. 5–14. DOI: 10.24412/2413-2527-2023-133-5-14. (In Russian)
3. Realizatsiya proekta po robotizatsii rutinykh operatsiy dlya povysheniya operatsionnoy effektivnosti kompanii / Yu. N. Stepanov [i dr.] // Intellektual'nye tekhnologii na transporte. 2023. No. 3 (35). S. 14–21. DOI: 10.24412/2413-2527-2023-335-14-21. (In Russian)
4. Vedenie elektronnoy zayavki na vvod uslug 52833784 00982.000-2 12 I12-01-US: operatsionnaya instruktsiya ot 30.11.2011. M.: OAO "RZHD", 2012. 63 s. (In Russian)
5. Obrabotka elektronnoy zayavki na vvod uslug 52833784 00982.000-2 12 I12-US-02: operatsionnaya instruktsiya ot 30.11.2011. M.: OAO "RZHD", 2012. 35 s. (In Russian)
6. Palanivel K., Suresh J. K. Robotic Process Automation to Smart Education // International Journal of Creative Research Thoughts. 2020. Vol. 8. No. 6. P. 3775–3784.
7. Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'evykh resursov Rossijskoj Federatsii v 2022 godu. URL: <https://rosnedra.gov.ru/activity/documents/gosudarstvennyy-doklad-2022/> (data obrashcheniya: 18.10.2024). (In Russian)
8. 15 Disruptive Use Cases of RPA in Oil & Gas Industry. URL: <https://www.birlasoft.com/articles/15-disruptive-rpa-use-cases-in-oil-gas-industry> (data obrashcheniya: 18.10.2024).

Received: 23.11.2024

Accepted: 25.11.2024

УДК 656.073

Исследование способов диспетчеризации видео на множестве конечных устройств в контексте языка программирования Rust

Ермаков Сергей Геннадьевич

— докт. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные и вычислительные системы». Область научных интересов: цифровая трансформация, цифровизация, обработка и анализ больших данных, эксплуатация автоматизированных систем управления, систем мониторинга, информационно-справочных и аналитических систем. E-mail: ermakov@pgups.ru

Ляпунов Владислав Евгеньевич

— магистр, аспирант кафедры «Информационные и вычислительные системы». Область научных интересов: информационные системы, виртуальная реальность, дополненная реальность, иммерсивные технологии. E-mail: Bladl1967@yandex.ru

Шефнер Альберт

— студент бакалавриата 3-го курса направления 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника». Область научных интересов: информационные системы. E-mail: dev_n0emo@tuta.io

Ахмедов Хаджимурад Арсланович

— студент бакалавриата 3-го курса направления 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника». Область научных интересов: информационные системы. E-mail: tearus2002@mail.ru

Кот Никита Дмитриевич

— студент бакалавриата 3-го курса направления 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника». Область научных интересов: информационные системы, обработка больших данных. E-mail: nikitakot072@gmail.com

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Ермаков С. Г., Ляпунов В. Е., Шефнер А., Ахмедов Х. А., Кот Н. Д. Исследование способов диспетчеризации видео на множестве конечных устройств в контексте языка программирования Rust // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 4 (40). С. 59–66. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-440-59-66

Аннотация. Современный мир активно движется в сторону цифровизации, что требует эффективного распределения видеоконтента на множестве конечных устройств. Проблема заключается в том, что различные сценарии использования предъявляют разные требования к безопасности, качеству и задержке при передаче видео. Целью исследования является выявление наиболее подходящих протоколов для диспетчеризации видео в образовательных и реальных приложениях с использованием языка программирования Rust, известного своей безопасностью и производительностью. Исследованы и проанализированы такие протоколы, как HTTPS (TCP), BitTorrent, HLS, WebRTC, SRT и DASH. Результаты показывают, что HLS и DASH обладают преимуществами при адаптивном потоковом вещании в условиях меняющейся сети, в то время как SRT и WebRTC обеспечивают низкую задержку и высокую надежность для приложений, требующих работы в реальном времени. Практическая значимость этих выводов подтверждается успешной интеграцией в образовательные системы, что обеспечивает стабильную работу даже при изменении нагрузки. Обсуждение: в будущем рекомендуется изучить комбинированное использование нескольких протоколов, таких как HLS и SRT, для повышения общей эффективности и надежности передачи видеоданных, а также интеграцию с CDN для улучшения качества и снижения нагрузки.

Ключевые слова: Rust, потоковое вещание, HLS, DASH, SRT, WebRTC, BitTorrent, безопасность, CDN, мультимедийные системы

2.3.5 — математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей (технические науки), **2.3.6** — методы и системы защиты информации, информационная безопасность (технические науки)

Благодарности. Настоящая статья выполнена при поддержке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» инициативных научных работ, выполняемых студенческими научными коллективами

Введение

В эпоху цифровизации образовательные учреждения активно используют технологии для улучшения качества обучения и взаимодействия между учащимися, педагогами и родителями. Одним из наиболее перспективных инструментов в этом направлении являются кросс-платформенные приложения, способные работать на различных устройствах и платформах [1]. Один из инструментов, позволяющий создавать такие приложения, — язык программирования высокого уровня Rust, отличающийся своими функциями безопасности памяти. Данная статья призвана исследовать актуальные способы отображения видеоконтента на цифровых фоторамках и прочих устройствах, используя Rust [2].

Критерии

Каждый способ передачи видеоконтента оценивается по следующим критериям:

1. Безопасность — уровень безопасности использования этой технологии на сервере и надежность шифрования передаваемых данных.
2. Надежность — вероятность возникновения ошибки при передаче контента.
3. Качество — уровень качества воспроизводимого видео.
4. Эффективность — нагрузка на сеть при передаче данных.
5. Задержка — время, по истечении которого передаваемый контент становится доступным для воспроизведения на устройстве.
6. Наличие решений на Rust — возможность использования безопасной реализации протокола в рамках исследуемого языка программирования.

Предварительная загрузка по HTTPS (TCP)

HTTPS — зашифрованный вариант протокола HTTP, работающий на базе TCP протокола с TLS-шифрованием.

TCP (Transmission Control Protocol) — это протокол транспортного уровня, который обеспечивает надежную, упорядоченную и безошибочную передачу данных между устройствами в сети. Он является одним из основных протоколов, используемых в интернете, и работает в паре с протоколом **IP** (Internet Protocol), образуя стек **TCP/IP**.

Это решение можно использовать для предварительной загрузки видеофайлов, которые после загрузки могут воспроизводиться неограниченное количество раз без необходимости подключения к сети [3].

1. Высокая безопасность. Протокол **HTTPS** является полностью безопасным благодаря **TLS**-шифрованию [4].
2. Высокая надежность. Загрузка видеофайлов заранее гарантирует их доступность для воспроизведения в любое время, в том числе при отсутствии сети.
3. Высокое качество. Возможно использование более высоких битрейтов и разрешений, так как видео загружается заранее. Улучшение качества изображения и звука, что критично для образовательных и информационных приложений.
4. Средняя эффективность. На каждое устройство необходимо передавать видеоконтент отдельно. Также **TCP** несет в себе дополнительные издержки, но возможности интеграции с **CDN** позволяют распределить нагрузку на сеть и увеличить эффективность.

5. Задержка. Рассматривать задержку для передачи заранее некорректно, так как это не прямое потоковое вещание.

6. Наличие решений на **Rust**. Для языка программирования **Rust** существует множество безопасных реализаций протокола **HTTPS**, например **hyper**.

Предварительная загрузка по протоколу BitTorrent

BitTorrent — Peer-To-Peer (**P2P**) протокол, призванный увеличить эффективность загрузки контента по сети [5]. Он может быть актуальным в случае необходимости загрузки одинакового контента на множество устройств [6].

1. Низкая безопасность. Протокол **BitTorrent** не задумывался как способ безопасной передачи контента, и в его рамках не существует адекватных механизмов безопасности.

2. Высокая надежность. Загрузка видеофайлов заранее гарантирует их доступность для воспроизведения в любое время, в том числе при отсуствии сети.

3. Высокое качество. Возможно использование более высоких битрейтов и разрешений, так как видео загружается заранее.

4. Высокая эффективность. Контент передается по **P2P**-модели, что позволяет значительно снизить нагрузку на сеть.

5. Задержка. Рассматривать задержку для передачи заранее некорректно, так как это не прямое потоковое вещание.

6. Наличие решений на **Rust**. Существует безопасная реализация **BitTorrent**-клиента для языка **Rust**.

HLS

HLS (HTTP Live Streaming) — это протокол потокового вещания, разработанный компанией Apple, который обеспечивает эффективную передачу видео и аудио через интернет. Одной из ключевых особенностей **HLS** является возможность шифрования контента, что позволяет достичь хорошего баланса между безопасностью и адаптивностью к различным сетевым условиям. **HLS** предлагает хороший

баланс между безопасностью и адаптивностью к различным сетевым условиям [7].

1. Высокая безопасность. Поддержка шифрования AES-128 обеспечивает защиту контента за счет индивидуального шифрования сегментов видео и хранения ключей на защищенном сервере, что предотвращает несанкционированный доступ.

2. Высокая надежность. **HLS** обеспечивает высокую надежность за счет сегментации контента и поддержки восстановления передачи при сбоях. Поток делится на небольшие сегменты, что позволяет клиенту продолжить воспроизведение с места последнего успешно загруженного сегмента, минимизируя прерывания.

3. Высокое качество. Возможности интеграции с сетями доставки контента **CDN** обеспечивает стабильное и быстрое воспроизведение видео даже при высоких нагрузках.

4. Средняя эффективность. Возможности интеграции с **CDN** позволяют снизить нагрузку на серверы, распределяя трафик между несколькими узлами.

5. Высокая задержка. Задержка **HLS** может достигать значений 45 секунд и выше, что может сделать выбор этого протокола непривлекательным, если требуется минимизировать задержку.

6. Наличие решений на **Rust**. Для **Rust** существует безопасная реализация чтения и создания **m3u8**-файлов, что позволит интегрировать данный протокол в существующий сервер или клиент. Также существует реализация сервера — **Xiu**.

WebRTC

WebRTC — технология, позволяющая обеспечить коммуникацию между устройствами в реальном времени. Она поддерживает передачу видео, голоса и данных между участниками, что позволяет создавать мощные решения для голосовой и видеосвязи.

1. Высокая безопасность. **WebRTC** включает в себя такие механизмы безопасности, как аутентификация и контроль доступа и использует протоколы **DTLS** (Datagram Transport Layer Security) и **SRTP** (Secure Real-time Transport Protocol) для обеспечения безопасности передаваемых данных. Это делает его подходящим

для использования в приложениях, требующих защиты данных.

2. Высокая надежность. **WebRTC** использует механизмы автоматического восстановления соединения и адаптивного контроля качества для обеспечения стабильности передачи данных даже в условиях сетевых сбоев и потерь пакетов. Это делает его подходящим для использования в реальных условиях с переменными сетевыми характеристиками [8].

3. Среднее качество. При передаче потокового видео уровень качества может ухудшаться в зависимости от условий среды [9].

4. Высокая эффективность. **WebRTC** позволяет устройствам обмениваться данными напрямую, что снижает нагрузку на серверы и уменьшает затраты на инфраструктуру.

5. Низкая задержка. **WebRTC** обеспечивает задержку в диапазоне от 0,2 до 2 с, что делает его привлекательным выбором для систем оповещения.

6. Наличие решений на **Rust**. **WebRTC.rs** обеспечивает первоклассную поддержку протокола в **Rust**.

SRT

Протокол потоковой передачи **SRT** (Secure Reliable Transport), разработанный компанией Hangzhou Hikvision Digital Technology Co., Ltd., представляет собой открытый протокол для передачи видео по интернет-сетям, включая короткие видеопотоки. Он создан для решения проблем, связанных с непредсказуемостью и ненадежностью интернета, акцентируя внимание на безопасности и надежности передачи данных на любые расстояния [10].

1. Высокая безопасность. Протокол **SRT** обеспечивает безопасность передачи данных с помощью шифрования **AES-256**, что защищает видеопотоки от несанкционированного доступа. Без правильного ключа доступ к содержимому становится невозможным [11].

2. Высокая надежность. **SRT** использует механизмы защиты от потери пакетов и метод **ARQ** (Automatic Repeat reQuest) для восстановления данных. Это позволяет минимизировать задержки

и потери пакетов, обеспечивая надежную передачу даже в нестабильных сетях.

3. Среднее качество. Протокол адаптируется к изменяющимся условиям сети, включая колебания пропускной способности, что позволяет поддерживать стабильное качество видео, но качество может варьироваться в зависимости от состояния сети.

4. Высокая эффективность. **SRT** может увеличить скорость доставки видео в 3–5 раз по сравнению с традиционными протоколами, что делает его эффективным решением для потоковой передачи.

5. Низкая задержка. **SRT** обеспечивает передачу видео с минимальной задержкой (от 0,1 до 0,3 с), что критически важно для приложений, требующих реального времени, таких как видеоконференции и прямые трансляции.

6. Наличие решений на **Rust**. **srt-rs** обеспечивает безопасную поддержку протокола в **Rust**.

DASH

MPEG-DASH (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) — это технология адаптивного потокового вещания, которая оптимизирует качество аудио- и видеоконтента в зависимости от сетевых условий и возможностей устройства. Она минимизирует буферизацию и улучшает качество воспроизведения на разных устройствах [12].

1. Высокая безопасность. **MPEG-DASH** поддерживает шифрование данных с использованием **HTTPS**, обеспечивая защиту контента. Также возможны цифровые подписи и технологии **DRM**, предотвращающие несанкционированный доступ и копирование.

2. Высокая надежность. Система сегментации **MPEG-DASH** разбивает мультимедийный файл на небольшие сегменты, которые загружаются по мере воспроизведения, обеспечивая стабильную работу даже при нестабильном интернете и снижая риск потери данных.

3. Среднее качество. **MPEG-DASH** адаптирует качество видеопотока в реальном времени, выбирая сегмент с оптимальным битрейтом в зависимости от условий сети, минимизируя буферизацию и обеспечивая плавность воспроизведения.

4. Высокая эффективность. Адаптивное изменение качества потока позволяет эффективно использовать пропускную способность сети и уменьшает нагрузку на каналы связи, обеспечивая воспроизведение контента даже при изменяющихся условиях интернета.

5. Средняя задержка. **MPEG-DASH** минимизирует задержку при загрузке сегментов, что важно для динамичных сценариев, таких как онлайн-трансляции. Это улучшает пользовательский опыт, уменьшая время ожидания [13].

6. Наличие решений на **Rust**. **dash-mpd** позволяет эффективно обрабатывать потоки данных и обеспечивать адаптивное потоковое вещание.

Сравнительный анализ

Был произведен сравнительный анализ различных методов передачи видео на основе оцененных критериев (табл. 1).

Для сценариев, где важны *безопасность и качество*, например, для образовательного контента и трансляций, подойдут **HTTPS (TCP)** и **HLS**.

Для эффективного *массового распространения* одинакового контента, где безопасность не критична подойдет **BitTorrent**.

Для приложений *в реальном времени*, таких как видеозвонки и прямые трансляции, благодаря низкой задержке и высокой надежности идеальны **WebRTC** и **SRT**.

Для адаптивного *потокового вещания*, подходит **DASH**, обеспечивающий высокое качество при изменяющихся условиях сети.

Практический пример

В рамках проекта «Исследование оптимальных методов планирования и распределения вывода

данных в мультимониторных системах в реальном времени с учетом динамической нагрузки» было реализовано отображение динамического расписания на день для определенной аудитории образовательного учреждения и системы оповещений. Это решение позволило эффективно интегрировать актуальные данные, получаемые в реальном времени, с использованием технологии **egui** для отображения информации на мультимониторных системах. Важным аспектом стало решение о выборе методов передачи медиаконтента: для отображения частых видео был использован протокол **HTTPS**, а для трансляций — технология **HLS**, что обеспечило стабильную работу системы и высокое качество передачи контента в условиях динамической нагрузки и изменяющихся данных.

Заключение

В ходе исследования были проанализированы различные способы диспетчеризации видеоконтента на конечные устройства с использованием языка программирования **Rust**. Протоколы **HLS** и **DASH** продемонстрировали хорошие возможности для адаптивного потокового вещания, обеспечивая стабильную передачу видео при переменной нагрузке и различных условиях сети. Протокол **SRT** с его низкой задержкой и высокой надежностью оказался подходящим для приложений, требующих реального времени, таких как трансляции и видеоконференции. **WebRTC** также проявил себя как эффективное решение для систем с минимальной задержкой, например для оповещений.

Будущие исследования могут быть направлены на использование нескольких протоколов в комбинации для улучшения эффективности и надежности видеопередачи. Например, сочетание **HLS** и **SRT**

Таблица 1

Сравнение различных методов передачи видеоконтента

Метод передачи	Безопасность	Надежность	Качество	Эффективность	Задержка
HTTPS (TCP)	Высокая	Высокая	Высокое	Средняя	Высокая
BitTorrent	Низкая	Высокая	Высокое	Высокая	Высокая
HLS	Высокая	Высокая	Высокое	Средняя	Высокая
WebRTC	Высокая	Высокая	Среднее	Высокая	Низкая
SRT	Высокая	Высокая	Среднее	Высокая	Низкая
DASH	Высокая	Высокая	Среднее	Высокая	Средняя

или WebRTC может сбалансировать адаптивность, минимальную задержку и надежность. Также стоит исследовать интеграцию адаптивных потоковых протоколов с CDN для оптимизации нагрузки и качества видео. Разработка таких гибридных решений улучшит пользовательский опыт в приложениях с высокими требованиями к качеству и стабильности, особенно в условиях динамичной сети.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сидорова В. И. Применение универсальных протоколов для передачи изображений и видео // Молодой ученый. 2022. № 4 (399). С. 41–44.
2. Клабник С., Николс К. Программирование на Rust = The Rust Programming Language. СПб.: Питер, 2021. 592 с.
3. Enabling Secure and Efficient Video Delivery Through Encrypted In-Network Caching / X. Yuan, X. Wang, J. Wang [et al.] // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2016. Vol. 34, iss. 8. P. 2077–2090. DOI: 10.1109/jsac.2016.2577301
4. Krawczyk H., Paterson K. G., Wee H. On the Security of the TLS Protocol: A Systematic Analysis // Canetti R., Garay J. A. (eds) Advances in Cryptology — CRYPTO 2013: Proceedings of the 33rd Annual Cryptology Conference (Santa Barbara, CA, USA, 18–22 August 2013). Part 1. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 8042. Heidelberg: Springer-Verlag, 2013. P. 429–448. DOI: 10.1007/978-3-642-40041-4_24
5. BEP 3: The BitTorrent Protocol Specification. URL: http://www.bittorrent.org/beps/bep_0003.html (дата обращения: 24.11.2024).
6. Xia R. L., Muppala J. K. A Survey of BitTorrent Performance // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2010. Vol. 12, iss. 2. P. 140–158. DOI: 10.1109/SURV.2010.021110.00036
7. The QoS Improvement Using CDN for Live Video Streaming with HLS / W. E. Shabrina [et al.] // Proceedings of the 2020 International Conference on Smart Technology and Applications (ICoSTA), (Surabaya, Indonesia, 20 February 2020). Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2020. 5 p. DOI: 10.1109/ICoSTA48221.2020.1570613984
8. WebRTC Security Measures and Weaknesses / B. Feher [et al.] // International Journal of Internet Technology and Secured Transactions. 2018. Vol. 8, no. 1. P. 78–102. DOI: 10.1504/IJITST.2018.092138
9. Fosser E., Nedberg L. Quality of Experience of WebRTC Based Video Communication. Norwegian University of Science and Technology, 2016. 131 p. URL: http://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2409900/15147_FULLTEXT.pdf
10. Adaptive Rate Control for Live Streaming Using SRT Protocol / R. Viola [et al.] // Proceedings of the 2020 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB) (Paris, France, 27–29 October 2020). Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2020. 6 p. DOI: 10.1109/BMSB49480.2020.9379708
11. Biryukov A., Khovratovich D. Related-Key Cryptanalysis of the Full AES-192 and AES-256 // Matsui M. (ed.) Advances in Cryptology — ASIACRYPT 2009: Proceedings of the 15th International Conference on the Theory and Application of Cryptology and Information Security (Tokyo, Japan, 06–10 December 2009). Lecture Notes in Computer Science. Vol. 5912. Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. P. 1–18. DOI: 10.1007/978-3-642-10366-7_1
12. Enhancing MPEG Dash Performance Via Server and Network Assistance / E. Thomas [et al.] // Proceedings of the International Broadcasting Convention Conference (IBC 2015) (Amsterdam, Netherlands, 11–15 September 2015). 8 p. DOI: 10.1049/ibc.2015.0014
13. Bouzakaria N., Concolato C., Le Feuvre J. Overhead and Performance of Low Latency Live Streaming Using MPEG-DASH // Proceedings of the Fifth International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA 2014) (Chania, Greece, 07–09 July 2014). Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2014. P. 92–97. DOI: 10.1109/IISA.2014.6878732

Дата поступления: 25.11.2024

Решение о публикации: 27.11.2024

Investigation of Video Dispatching Methods on Multiple End Devices in the Context of the Rust Programming Language

- Sergey G. Ermakov** — Dr. Sci. in Engineering, Professor, Head of the Department “Information and Computing Systems”. Research interests: digital transformation, digitalization, processing and analysis of big data, operation of automated control systems, monitoring systems, information-retrieval and analytical systems. E-mail: ermakov@pgups.ru
- Vladislav E. Lyapunov** — Master’s Degree student, Postgraduate student department “Information and Computing Systems”. Research interests: information systems, AR, VR immersive technologies. E-mail: Bladl1967@yandex.ru
- Albert Shefner** — 3rd year bachelor’s degree program 09.03.01 “Computer Science and Engineering”. Research interests: information systems. E-mail: dev_n0emo@tuta.io
- Khadgimurad A. Akhmedov** — 3rd year bachelor’s degree program 09.03.01 “Computer Science and Engineering”. Research interests: information systems. E-mail: tearus2002@mail.ru
- Nikita D. Kot** — 3rd year bachelor’s degree program 09.03.01 “Computer Science and Engineering”. Research interests: information systems, big data analysis. E-mail: nikitakot072@gmail.com

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., St. Petersburg, 190031, Russia

For citation: Ermakov S. G., Lyapunov V. E., Shefner A., Akhmedov K. A., Kot N. D. Investigation of Video Dispatching Methods on Multiple End Devices in the Context of the Rust Programming Language // Intellectual Technologies on Transport. 2024. № 4 (40). Pp. 59–66. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-440-59-66. (In Russian)

Abstract. *The modern world is actively moving towards digitalization, which requires efficient distribution of video content on a variety of end devices. The problem is that different usage scenarios impose different requirements on security, quality, and latency when transmitting video. The aim of the study is to identify the most suitable protocols for video dispatching in educational and real-world applications using the Rust programming language, known for its security and performance. Protocols such as HTTPS (TCP), BitTorrent, HLS, WebRTC, SRT and DASH have been investigated and analyzed. The results show that HLS and DASH have advantages in adaptive streaming in a changing network environment, while SRT and WebRTC provide low latency and high reliability for applications requiring real-time operation. The practical significance of these findings is confirmed by successful integration into educational systems, which ensures stable work even with a change in workload. Discussion: in the future, it is recommended to explore the combined use of several protocols, such as HLS and SRT, to improve the overall efficiency and reliability of video data transmission, as well as integration with CDN to improve quality and reduce load.*

Keywords: Rust, live streaming, HLS, DASH, SRT, WebRTC, BitTorrent, security, CDN, multimedia systems

REFERENCES

1. Sidorova V. I. Primenenie universal'nyh protokolov dlya peredachi izobrazhenij i video // Molodoj uchenyj. 2022. No. 4 (399). S. 41–44. (In Russian)
2. Klabnik S., Nikols K. Programirovanie na Rust = The Rust Programming Language. SPb.: Piter, 2021. 592 s. (In Russian)
3. Enabling Secure and Efficient Video Delivery Through Encrypted In-Network Caching / X. Yuan, X. Wang, J. Wang [et al.] // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2016. Vol. 34, iss. 8. P. 2077–2090. DOI: 10.1109/jsac.2016.2577301
4. Krawczyk H., Paterson K. G., Wee H. On the Security of the TLS Protocol: A Systematic Analysis // Canetti R.,

Garay J. A. (eds) *Advances in Cryptology — CRYPTO 2013: Proceedings of the 33rd Annual Cryptology Conference* (Santa Barbara, CA, USA, 18–22 August 2013). Part 1. *Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 8042. Heidelberg: Springer-Verlag, 2013. P. 429–448. DOI: 10.1007/978-3-642-40041-4_24

5. BEP 3: The BitTorrent Protocol Specification. URL: http://www.bittorrent.org/beps/bep_0003.html (дата обращения: 24.11.2024)

6. Xia R. L., Muppala J. K. A Survey of BitTorrent Performance // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2010. Vol. 12, iss. 2. P. 140–158. DOI: 10.1109/SURV.2010.021110.00036

7. The QoS Improvement Using CDN for Live Video Streaming with HLS / W. E. Shabrina [et al.] // *Proceedings of the 2020 International Conference on Smart Technology and Applications (ICoSTA)*, (Surabaya, Indonesia, 20 February 2020). Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2020. 5 p. DOI: 10.1109/ICoSTA48221.2020.1570613984

8. WebRTC Security Measures and Weaknesses / B. Feher [et al.] // *International Journal of Internet Technology and Secured Transactions*. 2018. Vol. 8, no. 1. P. 78–102. DOI: 10.1504/IJITST.2018.092138

9. Fosser E., Nedberg L. Quality of Experience of WebRTC Based Video Communication. Norwegian University of Science and Technology, 2016. 131 p. URL: http://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2409900/15147_FULLTEXT.pdf

10. Adaptive Rate Control for Live Streaming Using SRT Protocol / R. Viola [et al.] // *Proceedings of the 2020 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)* (Paris, France, 27–29 October 2020). Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2020. 6 p. DOI: 10.1109/BMSB49480.2020.9379708

11. Biryukov A., Khovratovich D. Related-Key Cryptanalysis of the Full AES-192 and AES-256 // Matsui M. (ed.) *Advances in Cryptology — ASIACRYPT 2009: Proceedings of the 15th International Conference on the Theory and Application of Cryptology and Information Security* (Tokyo, Japan, 06–10 December 2009). *Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 5912. Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. P. 1–18. DOI: 10.1007/978-3-642-10366-7_1

12. Enhancing MPEG Dash Performance Via Server and Network Assistance / E. Thomas [et al.] // *Proceedings of the International Broadcasting Convention Conference (IBC 2015)* (Amsterdam, Netherlands, 11–15 September 2015). 8 p. DOI: 10.1049/ibc.2015.0014

13. Bouzakaria N., Concolato C., Le Feuvre J. Overhead and Performance of Low Latency Live Streaming Using MPEG-DASH // *Proceedings of the Fifth International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA 2014)* (Chania, Greece, 07–09 July 2014). Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2014. P. 92–97. DOI: 10.1109/IISA.2014.6878732

Received: 25.11.2024

Accepted: 27.11.2024

УДК 519.254

Очистка полуструктурированных и неструктурированных данных дистанционного зондирования Земли

- Анатолий Дмитриевич Хомоненко**^{1, 2} — докт. техн. наук, профессор; профессор кафедры «Информационные и вычислительные системы»¹; профессор кафедры математического и программного обеспечения²; область научных интересов: информационные системы, обработка больших данных, вероятностное моделирование геоинформационных систем, генетические алгоритмы, информационная безопасность. E-mail: khomon@mail.ru
- Кириенко Андрей Борисович**² — аспирант кафедры математического и программного обеспечения; область научных интересов: информационные системы, базы данных, обработка больших данных, вероятностное моделирование информационных систем, информационная безопасность. E-mail: anbokir@mail.ru
- Злобин Сергей Евгеньевич**² — адъюнкт кафедры математического и программного обеспечения; область научных интересов: информационные системы, базы данных, обработка больших данных, системы искусственного интеллекта; E-mail: zlobincergey15@gmail.com
- Давыдова Даяна**¹ — магистр; ассистент кафедры «Информационные и вычислительные системы»; область научных интересов: информационные системы, обработка больших данных. E-mail: dayana-0820@bk.ru

¹ Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

² Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, Россия, 197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13

Для цитирования: Хомоненко А. Д., Кириенко А. Б., Злобин С. Е., Давыдова Д. Очистка полуструктурированных и неструктурированных данных дистанционного зондирования Земли // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 4 (40). С. 67–77. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-440-67-77

Аннотация. Затрагивается проблема обработки полуструктурированных и неструктурированных данных дистанционного зондирования Земли, полученных различными способами, включая спутники и беспилотные летательные аппараты. **Целью статьи** является исследование и реализация алгоритмов для эффективной очистки и предобработки полуструктурированных и неструктурированных данных дистанционного зондирования Земли. Подчеркивается важность очистки этих данных от шума, артефактов и ошибок для повышения их точности и значимости в прикладных научных исследованиях и практическом применении. Рассматриваются ключевые методики предобработки данных, включая удаление шума, коррекцию искажений, классификацию, сегментацию и стандартизацию данных, теоретические положения подкрепляются практическими примерами на Python с использованием таких библиотек, как GDAL, OpenCV и scikit-image. Приводятся примеры обнаружения воздушно-космических и транспортных объектов при помощи машинного обучения и глубокого обучения, подчеркивается значимость метрик точности, полноты и F1-Score при оценке качества очистки данных. **Практическая значимость** исследования заключается в оценке эффективности методов очистки данных, используемых для восстановления изображений при дистанционном зондировании Земли.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, предобработка данных, очистка данных, машинное обучение, глубокое обучение, фильтрация шума, коррекция искажений, классификация данных, сегментация изображений, воздушно-космические объекты, GDAL, OpenCV, scikit-image

1.2.1 — искусственный интеллект и машинное обучение (технические науки), **1.2.2** — математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки), **2.9.8** — интеллектуальные транспортные системы (технические науки)

Введение

Данные, полученные от авиации, космических аппаратов, беспилотных летательных аппаратов и других источников, различного типа датчиков, сенсоров и средств измерений, находящихся в космическом и воздушном пространстве, без их дополнительной предобработки и очистки зачастую непригодны для дальнейшего использования и анализа. Это вызвано различными факторами, такими как космическая радиация, технические неполадки и неисправности, ограничения оборудования, влияние погодных условий и различных радиоэлектронных средств, вызывающих помехи.

Очистка полуструктурированных и неструктурированных данных является важным этапом обработки, служащим для их исправления или удаления из набора некорректных, неполных, неформатированных или дублированных данных.

В контексте многоагентного управления космическими средствами корректно очищенные данные критически важны для точности и эффективности исполнения задач. Использование принципа многоагентных систем направлено на повышение эффективности, оперативности и боевой устойчивости космических систем за счет перераспределения функций управления между бортовым и наземным комплексами управления. Для получения точной и значимой информации для анализа и принятия решений в контексте многоагентного управления космическими средствами данные необходимо очищать от шума, артефактов и ошибок.

Ключевые аспекты и методики для очистки и предобработки данных

Целью восстановления изображения является восстановление скрытого чистого изображения x из его ухудшенного наблюдения:

$$y = x \otimes k \downarrow s + n, \quad (1)$$

где \otimes — двумерная свертка x с ядром размытия k ; $\downarrow s$ — стандартная s -кратная понижающая дискретизация, то есть сохранение левого верхнего пикселя для каждого отдельного участка размером $s \times s$ и отбрасывание остальных; n — аддитивный белый гауссовый шум (additive white Gaussian noise,

AWGN), определяемый стандартным отклонением (или уровнем шума) [1].

Формула (1) является моделью ухудшения и одновременно представляет общую модель сверхразрешения одиночного изображения, так как служит для описания процесса восстановления более качественного изображения на основе его низкоразрешенной версии.

Методы восстановления изображения (image restoration, IR) делятся на две основные категории, а именно: методы, основанные на моделях, и методы, основанные на обучении. Методы, основанные на моделях, направлены на замену поврежденных участков изображения реалистичными фрагментами. Методы, основанные на обучении, направлены на восстановление поврежденных фрагментов изображения с помощью нейронных сетей.

Методы, основанные на обучении, обычно моделируются как следующая задача двухуровневой оптимизации [2]:

$$\begin{cases} \min_{\theta} \sum_{i=1}^n \ell(\hat{x}_i, x_i), \\ \text{так, что } \hat{x}_i = f(y_i, \theta), \end{cases}$$

где θ — обучаемые параметры; $\ell(\hat{x}_i, x_i)$ измеряет потерю полученного чистого изображения \hat{x}_i по отношению к истинному изображению x_i .

На рис. 1 показана иллюстрация связей между методами, основанными на глубоком обучении, методами, основанными на модели, методами глубокого PnP и глубокой развертки. Под методами глубокого PnP понимаются методы, объединяющие принципы глубокого обучения и концепцию Plug and Play (использования готовых моделей) [1].

Для методов *на основе моделей* обучение не требуется, обеспечиваются экономия времени, высокая гибкость, и имеет место явная интерпретация благодаря использованию предварительно заданных параметризованных моделей.

Для методов *на основе обучения* требуется обучение, обеспечиваются высокая скорость и эффективность, но имеет место ограниченная гибкость.

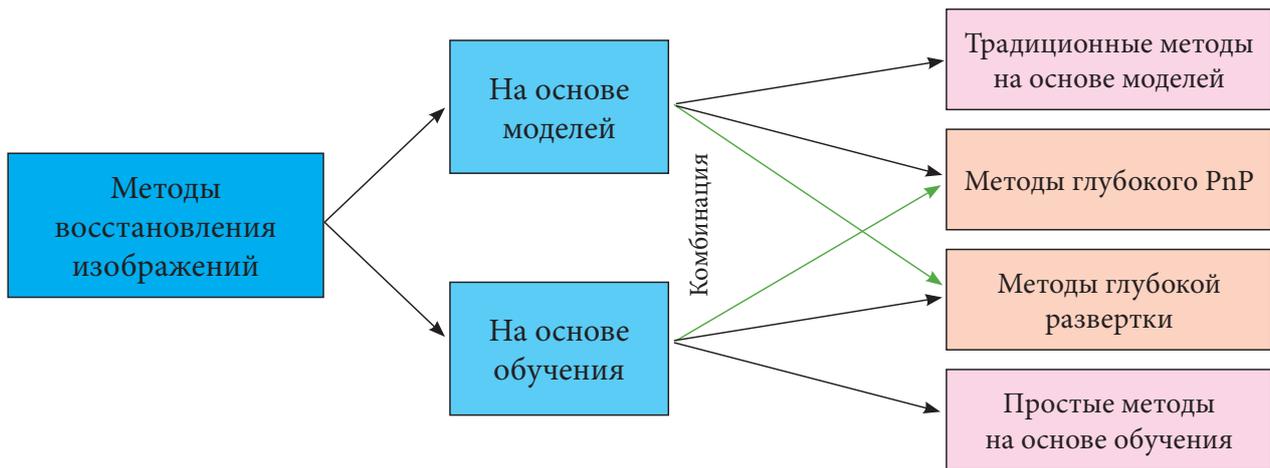


Рис. 1. Отношения между методами глубокого обучения, моделирования, глубокого PnP и глубокой развертки

Перечислим ключевые аспекты и методики, используемые для очистки и предобработки таких данных на основе моделей:

1. *Удаление шума и ошибок.* Применяются различные фильтры (например, медианные, гауссовы, ранжирующие, фильтры Винера, сглаживающие фильтры, спецификации сверточных нейронных сетей) для сглаживания изображений и устранения шума [3, 4]. Используются методы эрозии и дилатации для уточнения форм объектов на изображении.

2. *Коррекция искажений и размытий.* Геометрическая коррекция: преобразование данных для компенсации искажений, связанных с перспективной съемкой, вращением Земли, помех, возникших в результате тряски беспилотного летательного аппарата, и другими факторами. Радиометрическая коррекция: коррекция различий в освещении, вызванных облачностью, углом солнца и другими факторами. Для повышения резкости изображений обычно применяются два метода: фильтрация изображений или деконволюция [5, 6].

3. *Классификация и сегментация.* Алгоритмы классификации изображений применяются для решения широкого круга проблем, таких как сегментация изображений и обнаружение изменений на изображениях, для мониторинга и контроля, анализа данных [7]. Применяются методы супервизионного и несупервизионного обучения: применение алгоритмов машинного обучения для классификации типов поверхности и других ха-

рактеристик на основе обучающих данных или без них. Глубокое обучение: использование сверточных нейронных сетей для сегментации изображений и выделения интересных объектов [8, 9].

4. *Удаление нерелевантной информации.* Маскирование: отсечение нерелевантных областей, таких как водные объекты, когда целью является анализ суши.

5. *Форматирование и стандартизация данных.* Приведение к единому масштабу: установка одинакового разрешения для всех наборов данных. Соответствие стандартам: обеспечение совместимости данных с общепринятыми форматами и протоколами для последующего анализа.

6. *Повышение точности геопространственной привязки.* Геопространственные данные от различных источников в виде спутниковых снимков, данных с беспилотных летательных аппаратов и результаты наземных съемок должны точно соответствовать друг другу. Некорректная привязка таких данных может привести к ошибкам в анализе, особенно когда геоданные накладываются друг на друга (например, границы земельных участков или маршруты инфраструктур). Повышение точности привязки помогает избежать таких ошибок и обеспечивает более точное позиционирование объектов.

Процесс очистки и предобработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) должен адаптироваться к специфике задачи и требованиям конкретного исследования. При правильном

подходе эти шаги значительно повышают качество и полезность собранных данных для анализа и принятия решений в областях экологии, городского планирования и многих других.

Для демонстрации приведем примеры кода на языке Python, которые используются для обработки и очистки данных ДЗЗ. Эти примеры включают использование библиотеки GDAL для работы с геопространственными данными и библиотеки OpenCV для обработки изображений. Некоторые из этих задач могут также включать применение библиотеки scikit-image для специализированных задач обработки изображений.

При проведении исследования использовалась ОС Ubuntu для установки библиотеки GDAL.

Установка библиотек:

```
sudo apt-get update
sudo apt-get install gdal-bin libgdal-dev
```

В дополнение может потребоваться установка специфической версии GDAL для соответствия версии библиотеки, установленной через apt. Чтобы найти версию GDAL, необходимо ввести команду «gdalinfo — version», а затем установить нужную версию Python-пакета, при этом важно, чтобы была установлена библиотека numpy и отключена изоляция сборки gdal:

```
pip install numpy
pip install -U setuptools wheel
pip install --no-build-isolation --no-cache-dir --
force-reinstall gdal==<Версия>
pip install opencv-python scikit-image
```

Примеры обработки и очистки данных дистанционного зондирования Земли

Пример 1. Маскирование облачности.

Приведенный пример демонстрирует один из вариантов предобработки данных дистанционного зондирования Земли, а именно маскирование облачности, которое позволяет повысить точность и оперативность анализа полученных данных, а также оптимизировать работу алгоритмов машинного обучения.

Библиотека GDAL используется для чтения растрового изображения и OpenCV для создания маски облачности.

```
from osgeo import gdal
import cv2
import numpy as np
# Загрузка растрового изображения (указывается абсолютный либо относительный путь к файлу и необязательный аргумент, описывающий режим открытия — по умолчанию «только для чтения»):
dataset = gdal.Open('path_to_your_raster.tif')
band = dataset.GetRasterBand(1)
# Предполагается, что облака находятся в первом канале (модуль GDAL позволяет получить доступ как к любому каналу растра, так и ко всему растру сразу).
# Чтение данных в numpy массив:
image = band.ReadAsArray()
# Простая бинаризация для маскирования облачности:
_, cloud_mask = cv2.threshold (image, 200, 255, cv2.THRESH_BINARY)
# Предполагается, что облачность ярче (меняя параметр «200», можно установить минимальную яркость облаков).
# Применение маски к изображению (image):
masked_image = cv2.bitwise_and (image, image, mask=cloud_mask)
# Сохраняем результат:
cv2.imwrite ('masked_image.tif', masked_image)
```

Итог представлен на рис. 2.

Пример 2. Фильтрация шума с использованием медианного фильтра.

Приведенный пример описывает работу медианного фильтра. Преимущества медианного фильтра [10]:

- Эффективность в снижении шума: хорошо справляется с солью и перцем (шумом), сохраняя при этом края изображений. Это делает его более эффективным для некоторых типов шума по сравнению с гауссовыми фильтрами, которые могут размывать края.

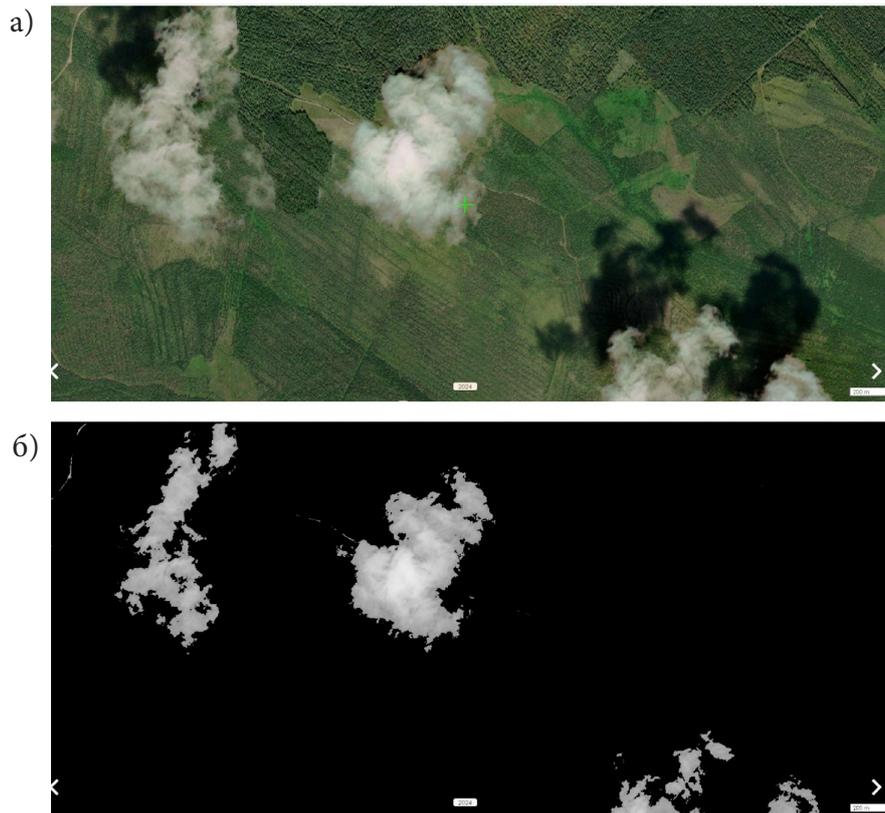


Рис. 2. а) исходное растровое изображение земной поверхности; б) результат

- Не меняет размеры: в отличие от некоторых других фильтров сохраняет размеры выходного изображения такими же, как и у входного, что удобно в обработке.
- Простота реализации: реализация в OpenCV достаточно проста и оптимизирована для работы с большими изображениями и в реальном времени.
- Не чувствителен к выбросам: не подвержен влиянию крайних значений (выбросов) в данных, что делает его более надежным для улучшения качества изображения.

```
import cv2
import numpy as np
# Чтение изображения (загружает изображение по указанному пути в градациях серого (черно-белом формате)):
image = cv2.imread('path_to_your_image.tif', cv2.IMREAD_GRAYSCALE)
# Применение медианного фильтра к загруженному изображению с размером ядра 5, что помогает уменьшить шум в изображении и сохранить его края:
```

```
filtered_image = cv2.medianBlur(image, 5)
# Сохраняем результат:
cv2.imwrite('filtered_image.tif', filtered_image)
```

Результат приведен на рис. 3.

Пример 3. Геометрическая коррекция (спецификация может зависеть от характера искажений).

Геометрическая коррекция является необходимым этапом обработки изображений ДЗЗ, обеспечивая надежность и точность полученных данных для последующего анализа и применения, например, приведения к единой системе координат, устранения искажений, повышения точности анализа, сравнения изображений во времени, сопоставления с векторными данными, упрощения проведения анализов.

Этот пример требует предварительного анализа для определения параметров коррекции, который обычно делается на основе контрольных точек, а также адаптации под конкретные задачи и данные.

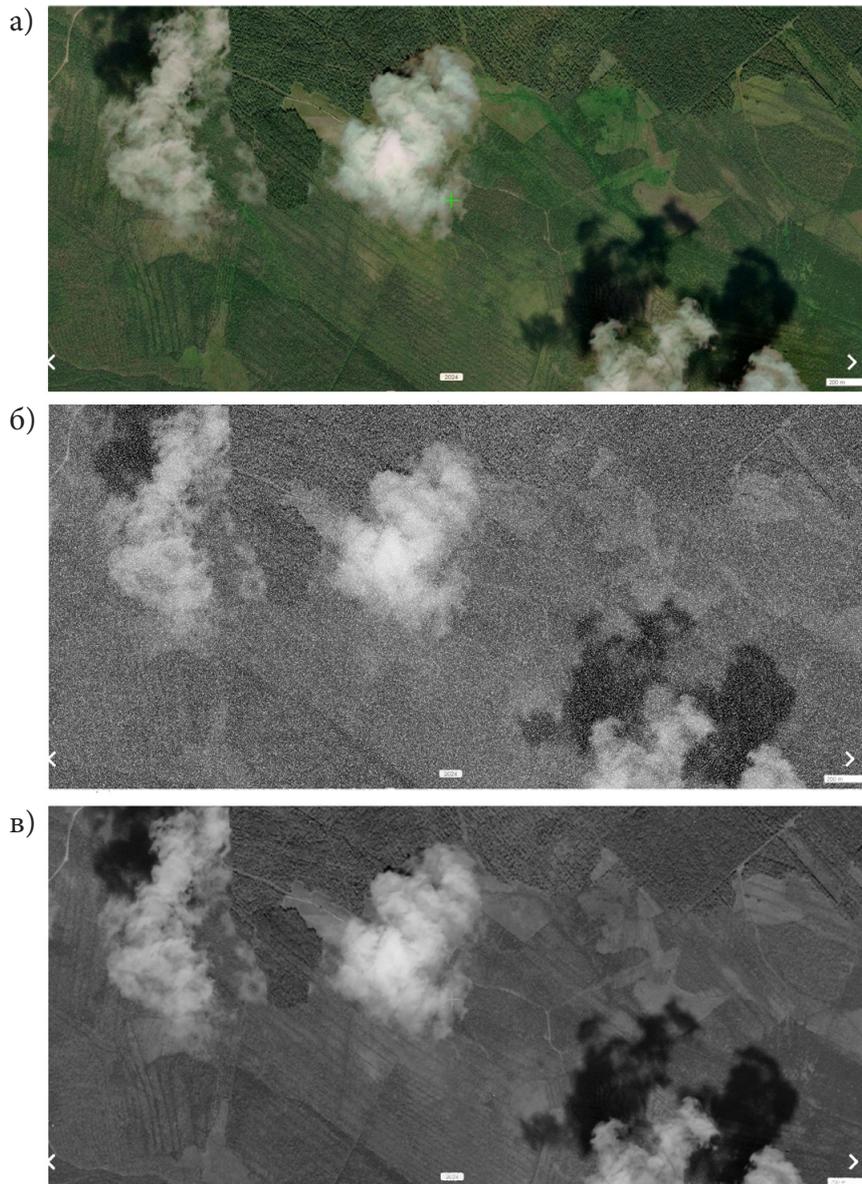


Рис. 3. а) исходное растровое изображение поверхности Земли; б) изображение с наложением импульсного шума, в) очищенное от шума изображение

```

from osgeo import gdal, osr
# Загрузка исходного изображения по указан-
ному пути:
dataset = gdal.Open('path_to_your_distorted_
image.tif')
# Определение новой геопривязки и системы
координат (пример). Переменная geotransform за-
дает параметры геопривязки изображения (поло-
жение, масштаб, угол наклона):
geotransform = (446720, 30, 0, 4611320, 0, -30)
srs = osr.SpatialReference()
# Пример использования EPSG кода WGS84
(создается объект srs (система координат) и им-

```

портируется система координат EPSG:4326 (WGS84):

```

srs.ImportFromEPSG(4326)
# Создание нового файла (с использованием
драйвера GTiff создается новый файл corrected_
image.tif с теми же размерностями и типами
данных, что и у исходного изображения; зада-
ются геопривязка и проекция для нового изо-
бражения):
driver = gdal.GetDriverByName('GTiff')
out_ds = driver.Create('corrected_image.tif',
dataset.RasterXSize, dataset.RasterYSize, dataset.
RasterCount, dataset.GetRasterBand(1).DataType)

```

```

out_ds.SetGeoTransform(geotransform)
out_ds.SetProjection(srs.ExportToWkt())
# Копирование данных из исходного файла
в корреktированный (в цикле для каждого раstra
исходного изображения данные копируются в со-
ответствующий растр нового файла):
for i in range(dataset.RasterCount):
    out_ds.GetRasterBand(i+1).WriteArray(dataset.
GetRasterBand(i+1).ReadAsArray())
out_ds.FlushCache() # Сброс в файл

```

Пример 4. Определение воздушно-космических объектов в данных, полученных с помощью ДЗЗ, с использованием библиотек машинного и глубокого обучения в Python.

Часто требуется распознавание и определение воздушно-космических объектов на полученных в результате ДЗЗ изображениях. Рассмотрим задачи обнаружения аэропортов и идентификации типов транспортных объектов на спутниковых снимках, приведем данные, которые можно использовать для этих целей, и предложим общую схему их решения с использованием библиотек машинного и глубокого обучения в Python.

4.1. Обнаружение аэропортов на спутниковых снимках.

Данные: использовались открытые спутниковые изображения высокого разрешения, например, предоставляемые сервисом Sentinel или Landsat. Google Earth API использовался для получения изображений аэропортов со всего мира для создания обучающего датасета.

Задача: разработать систему, способную автоматически обнаруживать и классифицировать аэропорты на спутниковых изображениях.

Решение: метод глубокого обучения с использованием сверточных нейронных сетей (CNN).

Необходимые классы для импорта:

- Sequential: модель, которая позволяет строить нейронные сети последовательным образом, добавляя слои один за другим.
- Conv2D: слой свертки, применяемый для обработки изображений.
- MaxPooling2D: слой подвыборки, который уменьшает размерность изображения.

- Flatten: преобразует многомерные данные в одномерный вектор.
- Dense: полносвязный слой, где каждый нейрон соединен со всеми нейронами предыдущего слоя.

Код с использованием библиотеки Keras:

```

#Импорт необходимых классов:
from tensorflow.keras.models import Sequential
#Импорт необходимых классов:
from tensorflow.keras.layers import Conv2D,
MaxPooling2D, Flatten, Dense
# Создание модели CNN:
model = Sequential
([Conv2D (32, (3, 3), activation='relu', input_
shape=(64, 64, 3)). # Создает первый слой свертки
с 32 фильтрами размером 3 × 3. Использует акти-
вационную функцию ReLU (Rectified Linear Unit)
для введения нелинейности. input_shape = (64, 64,
3) указывает, что входные изображения имеют
размер 64 × 64 пикселя и 3 цветовых канала (RGB).

```

MaxPooling2D (2, 2). #Применяет подвыборку размером 2 × 2, что уменьшает размерность изображения в два раза и уменьшает вычислительные затраты.

Conv2D (64, (3, 3), activation='relu'). #Добавляет второй слой свертки с 64 фильтрами также размером 3 × 3 и функцией активации ReLU.

MaxPooling2D (2, 2). #Применяет второй слой подвыборки таким же образом.

Flatten (). # Преобразует выходные данные из 2D в 1D, подготавливая их для входа в полносвязный слой.

Dense (128, activation='relu'). # Создает полносвязный слой с 128 нейронами и активацией ReLU.

Dense (1, activation='sigmoid'). # На выходе создает слой с одним нейроном и функцией активации сигмоид для бинарной классификации, где выходное значение будет интерпретироваться как вероятность.

Компиляция модели:

```

model.compile(optimizer='adam', loss='binary_
crossentropy', metrics=['accuracy'])

```

Модель готова к тренировке на данных изображений аэропортов. Параметры:

`optimizer='adam'` # Используется алгоритм оптимизации Adam, который адаптивно настраивает параметры обучения.

`loss='binary_crossentropy'` # Задается функция потерь для бинарной классификации, которая измеряет, насколько хорошо модель классифицирует входные данные.

`metrics=['accuracy']` # Указывает, что модель будет отслеживать точность в процессе обучения.

4.2. Классификация типов состояния местности.

Данные: для анализа состояния местности использовались многополосные спутниковые снимки, например с Sentinel-2, которые включают инфракрасные каналы, полезные для дифференциации растительности.

Задача: идентификация и классификация местности на основе спектральных сигнатур.

Решение: метод машинного обучения с использованием классификаторов на основе случайного леса или градиентного бустинга.

Пример кода с использованием Scikit-learn:

```
from sklearn.ensemble import
RandomForestClassifier # Импортирует класс
RandomForestClassifier, который используется для
создания модели случайного леса.
from sklearn.model_selection import train_test_
split # Импортирует функцию для разделения
данных на обучающую и тестовую выборки.
from sklearn.metrics import accuracy_score # Им-
портирует функцию для оценки точности модели.
import numpy as np
# Загрузка данных
# X — спектральные данные транспортных
объектов, y – метки классов культур:
X, y = load_your_data()
# Разделение данных на обучающую и тесто-
вую выборки:
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_
split(X, y, test_size=0.3, random_state=42);
# train_test_split() — функция, которая разделя-
ет данные на две части: обучающую и тестовую;
# test_size=0.3 указывает, что 30 % данных бу-
дет использовано для тестирования, а 70 % — для
обучения;
```

`# random_state=42` задает фиксированное значе- ние для генератора случайных чисел, обеспечивая воспроизводимость разделения данных.

`# Обучение модели случайного леса:`
`clf = RandomForestClassifier(n_estimators=100,`
`random_state=42)` # Создается объект модели слу- чайного леса.

`#n_estimators=100` # Указывает, что модель будет состоять из 100 деревьев решений.

`#random_state=42` # Обеспечивает воспроизво- димость.

`clf.fit(X_train, y_train)` # Обучение модели (fit) на обучающих данных `X_train` и их метках `y_train`. Во время этой процедуры модель настраивает свои внутренние параметры на основе обучаю- щих данных.

`# Оценка модели:`
`y_pred = clf.predict(X_test)`
`print(f'Accuracy: {accuracy_score(y_test, y_`
`pred)}')`

В обоих примерах кода центральным аспектом является подготовка данных: извлечение признаков, аннотация, разбиение на обучающую и тестовую выборки. Для обнаружения воздушно-космических объектов и классификации признаков на Земле дан- ные ДЗЗ являются источником информации, кото- рый можно эффективно обрабатывать с помощью методов машинного и глубокого обучения.

Проведение ДЗЗ с помощью авиации предла- гает уникальные возможности по сбору данных высокого разрешения. В отличие от спутникового ДЗЗ авиационный метод позволяет получать дан- ные с более высокой частотой и меньшим влияни- ем атмосферы, однако также требует тщательной очистки данных от шумов, вызванных вибраци- ей, погодными условиями и другими факторами. Рассмотрим пример использования авиационного ДЗЗ для мониторинга и анализа состояния мест- ности, в котором очистка данных может улучшить качество анализа.

Исходные данные: авиационные снимки мест- ности, содержащие транспортные объекты.

Цели анализа: определить состояние местности в районе железнодорожных путей.

Параметры оценки:

- точность (Accuracy) — доля правильно классифицированных пикселей на всех снимках;
- полнота (Recall) — доля правильно определенных случаев состояния местности от количества фактических случаев;
- F1-Score — гармоническое среднее точности и полноты.

Проведение очистки

Допустим, что первоначальный анализ данных проводился без какой-либо предварительной очистки. Затем были применены следующие методы очистки данных:

- коррекция вибрации — удаление искажений, вызванных вибрацией камеры на борту;
- атмосферная коррекция — минимизация влияния атмосферных условий на качество снимков;
- фильтрация шума — применение спектральной фильтрации для устранения фонового шума.

Таблица 1

Результаты предварительной очистки данных мониторинга состояния местности

Показатели	До очистки	После очистки
Точность	70 %	85 %
Полнота	65 %	80 %
F1-Score	0,67	0,82

Вывод. Улучшение характеристик после очистки демонстрирует значительный выигрыш в качестве данных. Коррекция вибрации обеспечила более четкие изображения, благодаря чему улучшилась классификация состояний местности. Атмосферная

коррекция снизила влияние тумана и других атмосферных эффектов, что подняло точность идентификации состояния местности. Фильтрация шума уменьшила количество ложных срабатываний, что положительно сказалось на полноте и F1-Score.

Пример иллюстрирует, как тщательная предобработка данных ДЗЗ может способствовать более точному и надежному анализу, особенно когда речь идет о критически важных применениях, таких как мониторинг условий эксплуатации железнодорожных объектов.

Заключение

Очистка и предобработка данных дистанционного зондирования Земли, полученных из космических и воздушных источников, представляет собой важный процесс, направленный на обеспечение их пригодности для дальнейшего анализа и принятия решений, в том числе в контексте многоагентного управления космическими средствами. Рассмотрены основные аспекты и методики, используемые для устранения шума, коррекции искажений, классификации и сегментации, а также удаления нерелевантной информации и стандартизации данных. В условиях современных вызовов и растущей сложности данных эффективные методологии очистки и предобработки становятся важнейшими инструментами, позволяющими обеспечить высокое качество анализа и оперативность обработки неструктурированных и слабоструктурированных данных в различных областях, в том числе позволяет более эффективно использовать возможности многоагентных систем. В дальнейшем углубление в развитие алгоритмов машинного обучения и автоматизации процессов предобработки будет способствовать более значительным изменениям в эффективности работы с данными.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Beyond a Gaussian denoiser: residual learning of deep CNN for image denoising / K. Zhang [et al.] // IEEE Transactions on Image Processing. 2017. P. 3142–3155.
2. Компьютерное зрение. Современные методы и перспективы развития / ред. Р. Дэвис, М. Терк; пер. с англ. В. С. Яценкова. М.: ДМК Пресс, 2022. 690 с.
3. Никитин Г. Ю. Повышение качества изображения на базе алгоритмов нейронных сетей // Компьютерные системы и сети: материалы 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов (Минск, Беларусь, 23–27 апреля 2018 г.). Минск: Белорусский гос. ун-т информатики и радиоэлектроники, 2018. С. 242–244.

4. Булыга Ф. С., Курейчик В. М. Метод понижения шума на цифровых изображениях // Мировые научные исследования и разработки в эпоху цифровизации: материалы XV Международной научно-практической конференции (Ростов-на-Дону, Россия, 25 ноября 2021 г.): в 2 ч. Ч. 1. Ростов н/Д.: Изд-во Южного университета (ИУБиП), 2021. С. 143–147.
5. Кислянский Г. Н., Нестругина Е. С. Восстановление расфокусированных и смазанных изображений // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. 2020. № 4. С. 41–53.
6. Learning to Estimate and Remove Non-uniform Image Blur / F. Couzinié-Devy [et al.] // Proceedings of the 2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2013) (Portland, OR, USA, 23–28 June 2013). Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2013. P. 1075–1082. DOI: 10.1109/CVPR.2013.143
7. Вершовский Е. А. Роевой алгоритм оптимизации в задаче кластеризации мультиспектрального снимка // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2010. № 5(106). С. 102–107.
8. Вершовский Е. А. Метод контроля качества кластеризации мультиспектрального изображения // Известия Южного федерального университета. Серия «Технические науки». 2010. № 7(108). С. 191–198.
9. Кузнецов А. А., Опарин А. Н., Шишкин В. А. Поиск и распознавание объектов на базе нейросетевых алгоритмов и нейропроцессорных технологий // Прикладная физика. 2006. № 5. С. 97–100.
10. Сорокин С. В. Возможности и преимущества взвешенных медианных фильтров для удаления импульсного шума на изображении // Труды XIX Международного симпозиума «Надежность и качество» (Пенза, Россия, 26 мая — 01 июня 2014 г.). Т. 2. Пенза: Пензенский гос. ун-т, 2014. С. 203–204.

Дата поступления: 31.10.2024

Решение о публикации: 31.10.2024

Cleaning of Semi-Structured and Unstructured Earth Remote Sensing Data

- Anatoly D. Khomonenko**^{1,2} — Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Information and Computing Systems¹; Professor of the Department of Mathematics and Software²; research interests: information systems, big data processing, probabilistic modeling of geoinformation systems, genetic algorithms, information security. E-mail: khomon@mail.ru
- Andrey B. Kirienko**² — graduate student of the Department of Mathematics and Software; research interests: information systems, databases, big data processing, probabilistic modeling of information systems, information security. E-mail: anbokir@mail.ru
- Sergey E. Zlobin**² — Associate Professor of the Department of Mathematics and Software; research interests: information systems, databases, big data processing, artificial intelligence systems. E-mail: zlobincergey15@gmail.com
- Dayana Davydova**¹ — Master's Degree; Assistant of the Department of Information and Computing Systems; research interests: information systems, big data processing. E-mail: dayana-0820@bk.ru

¹ Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

² Mozhaisky Military Aerospace Academy, 13, Zhdanovskaya str., St. Petersburg, 197198, Russia

For citation: Khomonenko A. D., Kirienko A. B., Zlobin S. E., Davydova D. Cleaning of Semi-Structured and Unstructured Earth Remote Sensing Data // Intellectual Technologies on Transport. 2024. No. 4 (40). Pp. 67–77. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-440-67-77 (In Russian)

Abstract. *The problem of processing semi-structured and unstructured Earth remote sensing (ERS) data obtained by various methods, including satellites and unmanned aerial vehicles, is touched upon. The purpose of the article is to study and implement algorithms for effective purification and preprocessing of semi-structured and unstructured Earth remote sensing data. The importance of cleaning these data from noise, artifacts and errors is emphasized in order to increase their accuracy and significance in applied scientific research and practical application. Key data preprocessing techniques are considered, including noise removal, distortion correction, classification, segmentation and standardization of data, reinforcing theoretical positions with practical examples in Python using libraries such as GDAL, OpenCV and scikit-image. Examples of detection of aerospace and transport objects using machine learning and deep learning are given, emphasizing the importance of accuracy, completeness and F1-Score metrics in assessing the quality of data purification. The practical significance of the study lies in evaluating the effectiveness of data purification methods used to restore images during remote sensing of the Earth.*

Keywords: *remote sensing of the Earth, data preprocessing, data purification, machine learning, deep learning, noise filtering, distortion correction, data classification, image segmentation, aerospace objects, GDAL, OpenCV, scikit-image*

REFERENCES

1. Beyond a Gaussian Denoiser: Residual Learning of Deep CNN for Image Denoising / K. Zhang [et al.] // IEEE Transactions on Image Processing. 2017. P. 3142–3155.
2. Komp'yuternoe zrenie. Sovremennyye metody i perspektivy razvitiya / red. R. Devis, M. Terk; per. s angl. V.S. Yacenkova. M.: DMK Press, 2022. 690 s. (In Russian)
3. Nikitin G. Yu. Povyshenie kachestva izobrazheniya na baze algoritmov nejronnyh setej // Komp'yuternyye sistemy i seti: materialy 54-j nauchnoj konferencii aspirantov, magistrantov i studentov (Minsk, Belarus', 23–27 aprelya 2018 g.). Minsk: Belorusskij gos. un-t informatiki i radioelektroniki, 2018. S. 242–244. (In Russian)
4. Bulyga F. S., Kurejchik V. M. Metod ponizheniya shuma na cifrovyyh izobrazheniyah // Mirovyye nauchnyye issledovaniya i razrabotki v epohu cifrovizacii: materialy XV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Rostov-na-Donu, Rossiya, 25 noyabrya 2021 g.): v 2 ch. Ch. 1. Rostov n/D.: Izd-vo YUzhnogo universiteta (IUBiP), 2021. S. 143–147. (In Russian)
5. Kislyanskij G. N., Nestrugina E. S. Vosstanovlenie rasfokusirovannyh i smazannyh izobrazhenij // Vestnik Doneckogo nacional'nogo universiteta. Seriya G: Tekhnicheskie nauki. 2020. No. 4. S. 41–53. (In Russian)
6. Learning to Estimate and Remove Non-uniform Image Blur / F. Couzinié-Devy [et al.] // Proceedings of the 2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2013) (Portland, OR, USA, 23–28 June 2013). Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2013. P. 1075–1082. DOI: 10.1109/CVPR.2013.143
7. Vershovskij E. A. Roevoj algoritm optimizacii v zadache klasterizacii mul'tispektral'nogo snimka // Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Seriya “Tekhnicheskie nauki”. 2010. No. 5(106). S. 102–107. (In Russian)
8. Vershovskij E. A. Metod kontrolya kachestva klasterizacii mul'tispektral'nogo izobrazheniya // Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2010. No. 7(108). S. 191–198. (In Russian)
9. Kuznecov A. A., Oparin A. N., SHishkin V. A. Poisk i raspoznavanie ob"ektov na bazise nejrosetevyyh algoritmov i nejroprocessornyh tekhnologij // Prikladnaya fizika. 2006. No. 5. S. 97–100. (In Russian)
10. Sorokin S. V. Vozmozhnosti i preimushchestva vzveshennyh mediannyh fil'trov dlya udaleniya impul'snogo shuma na izobrazhenii // Trudy XIX Mezhdunarodnogo simpoziuma “Nadezhnost' i kachestvo” (Penza, Rossiya, 26 maya — 01 iyunya 2014 g.). T. 2. Penza: Penzenskij gos. un-t, 2014. S. 203–204. (In Russian)

Received: 31.10.2024

Accepted: 31.10.2024

Юсупов Рафаэль Мидхатович

17 июля 1934 — 7 ноября 2024



С глубоким прискорбием сообщаем, что на 91-м году ушел из жизни Рафаэль Мидхатович Юсупов — выдающийся ученый в области информатики, информационных технологий и теории управления, основатель и руководитель научных школ по теоретическим основам информатизации общества и по теории чувствительности сложных информационно-управляющих систем, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, руководитель научного направления СПИИРАН Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра Российской академии наук, директор СПИИРАН (1991–2018).

С именем и трудами Р. М. Юсупова связано развитие таких научных направлений, как информатизация и формирование информационного общества, геофизическая кибернетика, квалиметрия моделей, информационная безопасность. Р. М. Юсупов — организатор, руководитель и участник крупнейших фунда-

ментальных и прикладных исследований в области кибернетики и информатики, результаты которых явились важным вкладом в отечественную и мировую науку, образование и экономику страны, ее безопасность и развитие международных научных связей.

Выдающиеся научные достижения Р. М. Юсупова, его талант организатора и общественного деятеля, уделявшего большое внимание воспитанию и подготовке высококвалифицированных инженерных и научных кадров, отмечены многочисленными государственными наградами. Среди учеников Рафаэля Мидхатовича — 12 докторов и 46 кандидатов наук. Он являлся автором более 500 научных трудов, 40 монографий, учебников и учебных пособий, 19 изобретений.

Р. М. Юсупов являлся членом редакционного совета журнала «Интеллектуальные технологии на транспорте» с начала его образования.

Яркая, многогранная и наполненная жизнь Рафаэля Мидхатовича навсегда останется в нашей памяти и наших сердцах примером преданного служения Родине и российской науке, образцом неиссякаемой энергии созидания, жизнелюбия и нацеленности в будущее.

Глубоко скорбим вместе с родными, близкими, коллегами и учениками Рафаэля Мидхатовича, разделяем горечь постигшей всех невосполнимой утраты.

Светлая Вам память, дорогой Рафаэль Мидхатович!

*Дирекция и коллектив СПб ФИЦ РАН,
коллектив редакции журнала «Интеллектуальные технологии на транспорте»*

Yusupov Rafael Midkhatovich

July 17, 1934 — November 7, 2024

With deep regret, we inform you that on November 7, 2024, in the 91st year, Rafael Midkhatovich Yusupov died. He was an outstanding scientist in the field of computer science, information technology and control theory, founder and head of scientific schools on the theoretical foundations of informatization of society and on the theory of sensitivity of complex information and control systems, Doctor of technical sciences, Professor, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, honored worker of science and technology of the Russian Federation, head of the scientific direction SPIIRAS of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, director of SPIIRAS (1991–2018).

The name and works of R. M. Yusupov is associated with the development of such scientific areas as informatization and formation of an information society, geophysical cybernetics, qualimetry of models, information security. R. M. Yusupov — an organizer, a leader and a participant of the largest fundamental and applied research in the field of cybernetics and informatics, the results of which were an important contribution to domestic and world science, education and the country's economy, its security and the development of international scientific ties.

Outstanding scientific achievements of R. M. Yusupov, his talent as an organizer and

a public figure who paid the great attention to the education and training of highly qualified engineering and scientific personnel, were awarded numerous state awards. Among the pupils of R. M. Yusupov — 12 Doctors of Sciences and 46 Candidates of Sciences, R. M. Yusupov is the author of more than 500 scientific papers, 40 monographs, textbooks and teaching aids, 19 inventions.

R. M. Yusupov has been a member of the Editorial Board of the journal “Intellectual Technologies on Transport” since the beginning of its formation.

The bright, multifaceted and filled life of Rafael Midkhatovich will forever remain in our memory and our hearts as an example of devoted service to the Motherland and Russian science, will be an example of the inexhaustible energy of creation, the love of life and the focus on the future.

Deeply grieving with Rafael Midkhatovich's family, friends, colleagues and students, we share the bitterness of the irreparable loss that has befallen everyone.

Blessed memory of you, dear Rafael Midkhatovich!

*Directorate and staff of St. Petersburg
Federal Research Center of the Russian Academy
of Sciences, the editorial staff of the journal
“Intellectual Technologies on Transport”*

Гарбарук Виктор Владимирович

9 сентября 1946 — 26 ноября 2024



С глубоким прискорбием сообщаем, что на 79-м году ушел из жизни Виктор Владимирович Гарбарук — почетный преподаватель Университета путей сообщения, доцент кафедры «Высшая математика», замечательнейший человек и великолепный педагог. За 52 года преподавательского стажа Виктор Владимирович сумел воспитать целую плеяду высококвалифицированных специалистов для предприятий железнодорожного транспорта.

В.В. Гарбарук прошел большой и славный путь. Окончив в 1964 году среднюю математическую школу № 239, он поступил

в Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина по специальности «Системы автоматизированного управления». Затем был призван в ряды Советской армии, а с 1972 года непрерывно работал в стенах нашего университета. Виктор Владимирович был не только востребованным преподавателем, но и отличным организатором, который в течение 12 лет возглавлял кафедру «Высшая математика». Внедряя методы математического моделирования в производство, Виктор Владимирович успешно занимался научными исследованиями.

Получив звание кандидата технических наук в 1977 году, он написал более 170 научных и методических трудов, которые востребованы студентами, коллегами в университете и на производстве.

Заслуги Виктора Владимировича не раз отмечались профильными ведомствами. В 2005 году он был награжден именными часами ОАО «Российские железные дороги», в 2009-м отмечен знаком «Почетный работник Октябрьской железной дороги» и юбилейным нагрудным знаком «200 лет транспортному образованию России». В 2021 году В. В. Габарук стал почетным преподавателем ПГУПС.

Студенты, сотрудники и преподаватели университета, имевшие возможность работать с Виктором Владимировичем Гарбаруком или учиться у него, навсегда сохранят благодарную память об этом светлом человеке.

Сотрудники ФГБОУ ВО ПГУПС, коллектив редакции журнала «Интеллектуальные технологии на транспорте»

Garbaruk Viktor Vladimirovich

September 9, 1946 — November 26, 2024

With deep regret, we inform you that Viktor Vladimirovich Garbaruk, an honorary lecturer at the University of Railway Engineering, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics, a wonderful man and a great teacher, passed away at the age of 79. Over 52 years of teaching experience, Viktor Vladimirovich has managed to educate a whole galaxy of highly qualified specialists for railway transport enterprises.

V. V. Garbaruk has passed a long and glorious path. After graduating from secondary mathematical school No. 239 in 1964, he entered the Leningrad Polytechnic Institute named after M. I. Kalinin with a degree in Automated Control Systems. Then he was drafted into the Soviet army, and since 1972 he has worked continuously at our university. Viktor Vladimirovich was not only a sought-after teacher, but also an excellent organizer, who headed the Department of Higher Mathematics for 12 years. Introducing mathematical modeling methods into production, Viktor Vladimirovich was successfully engaged in scientific research.

Having received the title of Candidate of Technical Sciences in 1977, he wrote more than 170 scientific and methodological works that are in demand by students, colleagues at the university and at work.

Viktor Vladimirovich's merits have been repeatedly noted by relevant departments. In 2005, he was awarded a personalized watch by JSC Russian Railways, in 2009 he was awarded the badge "Honorary Worker of the Oktyabrskaya Railway" and the jubilee badge "200 years of transport education in Russia". In 2021, V. V. Garbaruk became an honorary teacher of the PGUPS. Students, staff and teachers of the university who had the opportunity to work with Viktor Vladimirovich Garbaruk or study with him will forever preserve the grateful memory of this bright man.

Employees Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, the editorial staff of the journal "Intellectual Technologies on Transport"