

www.aurora-group.eu
www.nbpublish.com

ПРОГРАММНЫЕ СИСТЕМЫ

И

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

научный журнал



Выходные данные

Номер подписан в печать: 03-10-2025

Учредитель: Даниленко Василий Иванович, w.danilenko@nbpublish.com

Издатель: ООО <НБ-Медиа>

Главный редактор: Морозов Михаил Николаевич, кандидат технических наук,
mikhail.n.morozov@gmail.com

ISSN: 2454-0714

Контактная информация:

Выпускающий редактор - Зубкова Светлана Вадимовна

E-mail: info@nbpublish.com

тел.+7 (966) 020-34-36

Почтовый адрес редакции: 115114, г. Москва, Павелецкая набережная, дом 6А, офис 211.

Библиотека журнала по адресу: http://www.nbpublish.com/library_tariffs.php

Publisher's imprint

Number of signed prints: 03-10-2025

Founder: Danilenko Vasiliy Ivanovich, w.danilenko@nbpublish.com

Publisher: NB-Media ltd

Main editor: Morozov Mikhail Nikolaevich, kandidat tekhnicheskikh nauk,
mikhail.n.morozov@gmail.com

ISSN: 2454-0714

Contact:

Managing Editor - Zubkova Svetlana Vadimovna

E-mail: info@nbpublish.com

тел.+7 (966) 020-34-36

Address of the editorial board : 115114, Moscow, Paveletskaya nab., 6A, office 211 .

Library Journal at : http://en.nbpublish.com/library_tariffs.php

Редакционный совет

Гельман Виктор Яковлевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры медицинской информатики и физики ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И.Мечникова», 191015, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д.41, gelm@sg2104.spb.edu

Поляков Виктор Павлович – доктор педагогических наук, профессор, Главный научный сотрудник лаборатории психолого-педагогического и учебно-методического обеспечения развития информатизации образования Центра информатизации образования Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Институт управления образованием Российской академии образования», 105062, г. Москва, ул. Макаренко, д. 5/16, стр. 1Б, polvikpal@mail.ru

Гармаев Баир Заятуевич – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, Институт физического материаловедения Сибирского Отделения РАН, 670000, Россия, республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, каб. 313

Клименко Анна Борисовна – кандидат технических наук, научный сотрудник Научно-исследовательского института многопроцессорных вычислительных систем имени академика А.В. Каляева Южного федерального университета (НИИ МВС ЮФУ), 347935, Россия, Ростовская область, г. Таганрог, ул. 8 Переулок, 15

Лютикова Лариса Адольфовна – кандидат физико-математических наук, заведующая отделом Нейроинформатики и машинного обучения, Институт прикладной математики и автоматизации Кабардино-Балкарского научного центра РАН – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН (ИПМА КБНЦ РАН), 360000, Россия, Республика Кабардино-Балкария, г. Нальчик, ул. Шортанова, 89а

Мустафаев Арслан Гасанович – доктор технических наук, профессор, Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Дагестанский государственный университет народного хозяйства", кафедра «Информационные технологии и информационная безопасность», 367015, Россия, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Атаева, 5, каб. 4.5

Шестаков Александр Валентинович – кандидат технических наук, доцент Южный Федеральный университет, кафедра вычислительной техники, 347902, Россия, Ростовская область, г. Таганрог, ул. Свободы, 24/2

Сидоркина Ирина Геннадьевна – доктор технических наук, профессор, декан факультета Информатики и вычислительной техники Поволжского государственного технологического университета, Йошкар-Ола, Россия E-mail: dekan_fivt@mail.ru

Екатерина Прасолова-Førland - PhD, Норвежский университет науки и технологии (NTNU), Трондхейм, Норвегия E-mail: Ekaterina.Prasolova-Forland@idi.ntnu.no

Голенков Владимир Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Интеллектуальных информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь E-mail: golen@bsuir.by

Домошницкий Александр Исаакович – кандидат физико-математических наук, декан естественно-научного факультета Университетского центра в г.Ариэль, Израиль, Самариа E-mail: adom@ariel.ac.il Department of Mathematics and Computer Sciences, The Ariel

University Center of Samaria, 44837 Ariel, ISRAEL

Коробейников Анатолий Григорьевич - доктор технических наук, профессор «Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН (ИЗМИРАН)», Санкт-Петербургский филиал E-mail: korobeynikov_a_g@mail.ru

Заболеева-Зотова Алла Викторовна, доктор технических наук, профессор Волгоградского технического университета, Волгоград, Россия E-mail: zabzot@gmail.com

Бенкевич Леонид Владимирович - кандидат физических наук и инженерной физики, научный сотрудник Массачусеттского Технологического Института (MIT), обсерватория Хэйстек, Бостон, США E-mail: ibenkev@gmail.com

Морозов Михаил Николаевич - кандидат технических наук, профессор, руководитель лаборатории мультимедиа, заведующий кафедрой Информатики и системного программирования Поволжского государственного технологического университета, Йошкар-Ола, Россия E-mail: mikhail.n.morozov@gmail.com

Олзоева Сэсэг Ивановна - доктор технических наук, профессор, Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления (г. Улан-Уде) E-mail: sseseg@yandex.ru

Курейчик Владимир Викторович - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Систем автоматизации проектирования Технологического института «Южного федерального университета» в г.Таганрог, Россия E-mail: ykur@tsure.ru

Филатова Наталья Николаевна - доктор технических наук, профессор, Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия E-mail: nfilatova99@mail.ru

Песошин Валерий Андреевич - член-корреспондент Академии наук Республики Татарстан, заслуженный деятель науки Республики Татарстан и Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Республики Татарстан. Заведующий кафедрой Компьютерных систем Казанского национальный исследовательский университет им. А.Н. Туполева, Казань, Россия E-mail: pesoshin@evm.kstu-kai.ru

Краснов Сергей Викторович - доктор технических наук, профессор, проректор по научно-исследовательской работе, заведующий кафедрой Информатика и системы управления Волжского университета им. Татищева, Тольятти, Россия E-mail: krasnovtlt@mail.ru

Горохов Алексей Витальевич - доктор технических наук, профессор кафедры Прикладной математики и информационных технологий Поволжского государственного технологического университета, Йошкар-Ола, Россия E-mail: agv64@mail.ru

Галанина Наталья Андреевна - доктор технических наук, профессор, Чувашский государственный университет им. И.Н.Ульянова, Чебоксары, Россия E-mail: galaninacheb@mail.ru

Сюзов Владимир Васильевич - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Компьютерные системы и сети Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия E-mail: v.suzev@bmstu.ru

Леухин Анатолий Николаевич - доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой Информационной безопасности Поволжского государственного технологического университета, Йошкар-Ола, Россия E-mail: code@volgatech.net

Гвинианидзе Темур Николаевич - Доктор технических наук, профессор,
Государственный университет им. Ак. Церетели Грузия, г. Кутаиси, пр. Тamar-мепе 59.
П.и 4600. temuri1951@mail.ru

Council of Editors

Gelman Viktor Yakovlevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Medical Informatics and Physics of the I.I.Mechnikov Northwestern State Medical University, 41 Kirochnaya Str., St. Petersburg, 191015, Russia, gelm@sg2104.spb.edu

Polyakov Viktor Pavlovich – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Psychological, Pedagogical and Educational methodological support for the development of Informatization of Education of the Center for Informatization of Education of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Institute of Education Management of the Russian Academy of Education", 105062, Moscow, Makarenko str., 5/16, p. 1B, polvikpal@mail.ru

Garmaev Bair Zayatuevich – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Researcher, Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 670000, Russia, Republic of Buryatia, Ulan-Ude, Sakhyanova str., 6, room 313

Klimenko Anna Borisovna – Candidate of Technical Sciences, Researcher at the Research Institute of Multiprocessor Computing Systems named after Academician A.V. Kalyaev of the Southern Federal University (Research Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Southern Federal University), 347935, Russia, Rostov region, Taganrog, ul. 8 Lane, 15

Lyutikova Larisa Adolfova – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Department of Neuroinformatics and Machine Learning, Institute of Applied Mathematics and Automation of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences - branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (IPMA KBSC RAS), 360000, Russia, Republic of Kabardino-Balkaria, Nalchik, 89a Shortanova str.

Mustafayev Arslan Hasanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Dagestan State University of National Economy", Department of "Information Technologies and Information Security", 367015, Russia, Republic of Dagestan, Makhachkala, Ataeva str., 5, office 4.5

Alexander V. Shestakov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Southern Federal University, Department of Computer Engineering, 24/2 Svobody str., Taganrog, Rostov Region, 347902, Russia

Sidorkina Irina Gennadievna - Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Computer Science and Computer Engineering of the Volga State Technological University, Yoshkar-Ola, Russia E-mail: dekan_fivt@mail.ru

Ekaterina Prasolova-Forland - PhD, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway E-mail: Ekaterina.Prasolova-Forland@idi.ntnu.no

Golenkov Vladimir Vasilyevich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Intelligent Information Technologies of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus E-mail: golen@bsuir.by

Domoshnitsky Alexander Isaakovich - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Dean of the Faculty of Natural Sciences of the University Center in Ariel, Israel, Samaria E-mail: adom@ariel.ac.il Department of Mathematics and Computer Sciences, The Ariel University Center of Samaria, 44837 Ariel, ISRAEL

Korobeynikov Anatoly Grigorievich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of

Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of the Russian Academy of Sciences (IZMIRAN), St. Petersburg Branch E-mail: korobeynikov_a_g@mail.ru

Zaboleeva-Zotova Alla Viktorovna, Doctor of Technical Sciences, Professor of Volgograd Technical University, Volgograd, Russia E-mail: zabzot@gmail.com

Leonid V. Benkevich - Candidate of Physical Sciences and Engineering Physics, Researcher at the Massachusetts Institute of Technology (MIT), Haystack Observatory, Boston, USA E-mail: lbenkev@gmail.com

Mikhail N. Morozov - Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of the Multimedia Laboratory, Head of the Department of Computer Science and System Programming of the Volga State Technological University, Yoshkar-Ola, Russia E-mail: mikhail.n.morozov@gmail.com

Olzoeva Seseg Ivanovna - Doctor of Technical Sciences, Professor, East Siberian State University of Technology and Management (Ulan-Ude) E-mail: sseseg@yandex.ru

Kureychik Vladimir Viktorovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Design Automation Systems of the Technological Institute of the Southern Federal University in Taganrog, Russia E-mail: vkur@tsure.ru

Natalia Filatova - Doctor of Technical Sciences, Professor, Tver State Technical University, Tver, Russia E-mail: nfilatova99@mail.ru

Pesoshin Valery Andreevich - Corresponding member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Honored Scientist of the Republic of Tatarstan and the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Science and Technology of the Republic of Tatarstan. Head of the Department of Computer Systems of Kazan National Research University named after A.N. Tupolev, Kazan, Russia E-mail: pesoshin@evm.kstu-kai.ru

Krasnov Sergey Viktorovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Head of the Department of Computer Science and Control Systems of the Volga State University. Tatishcheva, Togliatti, Russia E-mail: krasnovtlt@mail.ru

Gorokhov Alexey Vitalievich - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Applied Mathematics and Information Technologies of the Volga State Technological University, Yoshkar-Ola, Russia E-mail: agv64@mail.ru

Galanina Natalia Andreevna - Doctor of Technical Sciences, Professor, I.N.Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russia E-mail: galaninacheb@mail.ru

Vladimir V. Syuzev - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Computer Systems and Networks of the Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia E-mail: v.suzev@bmstu.ru

Leukhin Anatoly Nikolaevich - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Information Security of the Volga State Technological University, Yoshkar-Ola, Russia E-mail: code@volgatech.net

Gvinianidze Temur Nikolaevich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Ak. Tsereteli State University Georgia, Kutaisi, 59 Tamar-mepe Ave., and 4600. temuri1951@mail.ru

Требования к статьям

Журнал является научным. Направляемые в издательство статьи должны соответствовать тематике журнала (с его рубрикаторм можно ознакомиться на сайте издательства), а также требованиям, предъявляемым к научным публикациям.

Рекомендуемый объем от 12000 знаков.

Структура статьи должна соответствовать жанру научно-исследовательской работы. В ее содержании должны обязательно присутствовать и иметь четкие смысловые разграничения такие разделы, как: предмет исследования, методы исследования, апелляция к оппонентам, выводы и научная новизна.

Не приветствуется, когда исследователь, трактуя в статье те или иные научные термины, вступает в заочную дискуссию с авторами учебников, учебных пособий или словарей, которые в узких рамках подобных изданий не могут широко излагать свое научное воззрение и заранее оказываются в проигрышном положении. Будет лучше, если для научной полемики Вы обратитесь к текстам монографий или диссертационных работ оппонентов.

Не превращайте научную статью в публицистическую: не наполняйте ее цитатами из газет и популярных журналов, ссылками на высказывания по телевидению.

Ссылки на научные источники из Интернета допустимы и должны быть соответствующим образом оформлены.

Редакция отвергает материалы, напоминающие реферат. Автору нужно не только продемонстрировать хорошее знание обсуждаемого вопроса, работ ученых, исследовавших его прежде, но и привнести своей публикацией определенную научную новизну.

Не принимаются к публикации избранные части из диссертаций, книг, монографий, поскольку стиль изложения подобных материалов не соответствует журнальному жанру, а также не принимаются материалы, публиковавшиеся ранее в других изданиях.

В случае отправки статьи одновременно в разные издания автор обязан известить об этом редакцию. Если он не сделал этого заблаговременно, рискует репутацией: в дальнейшем его материалы не будут приниматься к рассмотрению.

Уличенные в плагиате попадают в «черный список» издательства и не могут рассчитывать на публикацию. Информация о подобных фактах передается в другие издательства, в ВАК и по месту работы, учебы автора.

Статьи представляются в электронном виде только через сайт издательства <http://www.e-notabene.ru> кнопка "Авторская зона".

Статьи без полной информации об авторе (соавторах) не принимаются к рассмотрению, поэтому автор при регистрации в авторской зоне должен ввести полную и корректную информацию о себе, а при добавлении статьи - о всех своих соавторах.

Не набирайте название статьи прописными (заглавными) буквами, например: «ИСТОРИЯ КУЛЬТУРЫ...» — неправильно, «История культуры...» — правильно.

При добавлении статьи необходимо прикрепить библиографию (минимум 10–15 источников, чем больше, тем лучше).

При добавлении списка использованной литературы, пожалуйста, придерживайтесь следующих стандартов:

- [ГОСТ 7.1-2003 Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.](#)
- [ГОСТ 7.0.5-2008 Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления](#)

В каждой ссылке должен быть указан только один диапазон страниц. В теле статьи ссылка на источник из списка литературы должна быть указана в квадратных скобках, например, [1]. Может быть указана ссылка на источник со страницей, например, [1, с. 57], на группу источников, например, [1, 3], [5-7]. Если идет ссылка на один и тот же источник, то в теле статьи нумерация ссылок должна выглядеть так: [1, с. 35]; [2]; [3]; [1, с. 75-78]; [4].... А в библиографии они должны отображаться так:

[1]

[2]

[3]

[4]....

Постраничные ссылки и сноски запрещены. Если вы используете сноску, не содержащую ссылку на источник, например, разъяснение термина, включите сноску в текст статьи.

После процедуры регистрации необходимо прикрепить аннотацию на русском языке, которая должна состоять из трех разделов: Предмет исследования; Метод, методология исследования; Новизна исследования, выводы.

Прикрепить 10 ключевых слов.

Прикрепить саму статью.

Требования к оформлению текста:

- Кавычки даются уголками (« ») и только кавычки в кавычках — лапками (" ").
- Тире между датами дается короткое (Ctrl и минус) и без отбивок.
- Тире во всех остальных случаях дается длинное (Ctrl, Alt и минус).
- Даты в скобках даются без г.: (1932–1933).
- Даты в тексте даются так: 1920 г., 1920-е гг., 1540–1550-е гг.
- Недопустимо: 60-е гг., двадцатые годы двадцатого столетия, двадцатые годы XX столетия, 20-е годы XX столетия.
- Века, король такой-то и т.п. даются римскими цифрами: XIX в., Генрих IV.
- Инициалы и сокращения даются с пробелом: т. е., т. д., М. Н. Иванов. Неправильно: М.Н. Иванов, М.Н. Иванов.

ВСЕ СТАТЬИ ПУБЛИКУЮТСЯ В АВТОРСКОЙ РЕДАКЦИИ.

По вопросам публикации и финансовым вопросам обращайтесь к администратору
Зубковой Светлане Вадимовне

E-mail: info@nbpublish.com

или по телефону +7 (966) 020-34-36

Подробные требования к написанию аннотаций:

Аннотация в периодическом издании является источником информации о содержании статьи и изложенных в ней результатах исследований.

Аннотация выполняет следующие функции: дает возможность установить основное

содержание документа, определить его релевантность и решить, следует ли обращаться к полному тексту документа; используется в информационных, в том числе автоматизированных, системах для поиска документов и информации.

Аннотация к статье должна быть:

- информативной (не содержать общих слов);
- оригинальной;
- содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследований);
- структурированной (следовать логике описания результатов в статье);

Аннотация включает следующие аспекты содержания статьи:

- предмет, цель работы;
- метод или методологию проведения работы;
- результаты работы;
- область применения результатов; новизна;
- выводы.

Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдается предпочтение новым результатам и данным долгосрочного значения, важным открытиям, выводам, которые опровергают существующие теории, а также данным, которые, по мнению автора, имеют практическое значение.

Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в статье.

Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте аннотации. Следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...», «в статье рассматривается...»).

Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в аннотации не приводятся.

В тексте аннотации следует употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных и технических документов, избегать сложных грамматических конструкций.

Гонорары за статьи в научных журналах не начисляются.

Цитирование или воспроизведение текста, созданного ChatGPT, в вашей статье

Если вы использовали ChatGPT или другие инструменты искусственного интеллекта в своем исследовании, опишите, как вы использовали этот инструмент, в разделе «Метод» или в аналогичном разделе вашей статьи. Для обзоров литературы или других видов эссе, ответов или рефератов вы можете описать, как вы использовали этот инструмент, во введении. В своем тексте предоставьте prompt - командный вопрос, который вы использовали, а затем любую часть соответствующего текста, который был создан в ответ.

К сожалению, результаты «чата» ChatGPT не могут быть получены другими читателями, и хотя невозстановимые данные или цитаты в статьях APA Style обычно цитируются как личные сообщения, текст, сгенерированный ChatGPT, не является сообщением от человека.

Таким образом, цитирование текста ChatGPT из сеанса чата больше похоже на совместное использование результатов алгоритма; таким образом, сделайте ссылку на автора алгоритма записи в списке литературы и приведите соответствующую цитату в тексте.

Пример:

На вопрос «Является ли деление правого полушария левого полушария реальным или метафорой?» текст, сгенерированный ChatGPT, показал, что, хотя два полушария мозга в некоторой степени специализированы, «обозначение, что люди могут быть охарактеризованы как «левополушарные» или «правополушарные», считается чрезмерным упрощением и популярным мифом» (OpenAI, 2023).

Ссылка в списке литературы

OpenAI. (2023). ChatGPT (версия от 14 марта) [большая языковая модель].
<https://chat.openai.com/chat>

Вы также можете поместить полный текст длинных ответов от ChatGPT в приложение к своей статье или в дополнительные онлайн-материалы, чтобы читатели имели доступ к точному тексту, который был сгенерирован. Особенно важно задокументировать точный созданный текст, потому что ChatGPT будет генерировать уникальный ответ в каждом сеансе чата, даже если будет предоставлен один и тот же командный вопрос. Если вы создаете приложения или дополнительные материалы, помните, что каждое из них должно быть упомянуто по крайней мере один раз в тексте вашей статьи в стиле APA.

Пример:

При получении дополнительной подсказки «Какое представление является более точным?» в тексте, сгенерированном ChatGPT, указано, что «разные области мозга работают вместе, чтобы поддерживать различные когнитивные процессы» и «функциональная специализация разных областей может меняться в зависимости от опыта и факторов окружающей среды» (OpenAI, 2023; см. Приложение А для полной расшифровки). .

Ссылка в списке литературы

OpenAI. (2023). ChatGPT (версия от 14 марта) [большая языковая модель].
<https://chat.openai.com/chat> Создание ссылки на ChatGPT или другие модели и программное обеспечение ИИ

Приведенные выше цитаты и ссылки в тексте адаптированы из шаблона ссылок на программное обеспечение в разделе 10.10 Руководства по публикациям (Американская психологическая ассоциация, 2020 г., глава 10). Хотя здесь мы фокусируемся на ChatGPT, поскольку эти рекомендации основаны на шаблоне программного обеспечения, их можно адаптировать для учета использования других больших языковых моделей (например, Bard), алгоритмов и аналогичного программного обеспечения.

Ссылки и цитаты в тексте для ChatGPT форматируются следующим образом:

OpenAI. (2023). ChatGPT (версия от 14 марта) [большая языковая модель].
<https://chat.openai.com/chat>

Цитата в скобках: (OpenAI, 2023)

Описательная цитата: OpenAI (2023)

Давайте разберем эту ссылку и посмотрим на четыре элемента (автор, дата, название и

источник):

Автор: Автор модели OpenAI.

Дата: Дата — это год версии, которую вы использовали. Следуя шаблону из Раздела 10.10, вам нужно указать только год, а не точную дату. Номер версии предоставляет конкретную информацию о дате, которая может понадобиться читателю.

Заголовок. Название модели — «ChatGPT», поэтому оно служит заголовком и выделено курсивом в ссылке, как показано в шаблоне. Хотя OpenAI маркирует уникальные итерации (например, ChatGPT-3, ChatGPT-4), они используют «ChatGPT» в качестве общего названия модели, а обновления обозначаются номерами версий.

Номер версии указан после названия в круглых скобках. Формат номера версии в справочниках ChatGPT включает дату, поскольку именно так OpenAI маркирует версии. Различные большие языковые модели или программное обеспечение могут использовать различную нумерацию версий; используйте номер версии в формате, предоставленном автором или издателем, который может представлять собой систему нумерации (например, Версия 2.0) или другие методы.

Текст в квадратных скобках используется в ссылках для дополнительных описаний, когда они необходимы, чтобы помочь читателю понять, что цитируется. Ссылки на ряд общих источников, таких как журнальные статьи и книги, не включают описания в квадратных скобках, но часто включают в себя вещи, не входящие в типичную рецензируемую систему. В случае ссылки на ChatGPT укажите дескриптор «Большая языковая модель» в квадратных скобках. OpenAI описывает ChatGPT-4 как «большую мультимодальную модель», поэтому вместо этого может быть предоставлено это описание, если вы используете ChatGPT-4. Для более поздних версий и программного обеспечения или моделей других компаний могут потребоваться другие описания в зависимости от того, как издатели описывают модель. Цель текста в квадратных скобках — кратко описать тип модели вашему читателю.

Источник: если имя издателя и имя автора совпадают, не повторяйте имя издателя в исходном элементе ссылки и переходите непосредственно к URL-адресу. Это относится к ChatGPT. URL-адрес ChatGPT: <https://chat.openai.com/chat>. Для других моделей или продуктов, для которых вы можете создать ссылку, используйте URL-адрес, который ведет как можно более напрямую к источнику (т. е. к странице, на которой вы можете получить доступ к модели, а не к домашней странице издателя).

Другие вопросы о цитировании ChatGPT

Вы могли заметить, с какой уверенностью ChatGPT описал идеи латерализации мозга и то, как работает мозг, не ссылаясь ни на какие источники. Я попросил список источников, подтверждающих эти утверждения, и ChatGPT предоставил пять ссылок, четыре из которых мне удалось найти в Интернете. Пятая, похоже, не настоящая статья; идентификатор цифрового объекта, указанный для этой ссылки, принадлежит другой статье, и мне не удалось найти ни одной статьи с указанием авторов, даты, названия и сведений об источнике, предоставленных ChatGPT. Авторам, использующим ChatGPT или аналогичные инструменты искусственного интеллекта для исследований, следует подумать о том, чтобы сделать эту проверку первоисточников стандартным процессом. Если источники являются реальными, точными и актуальными, может быть лучше прочитать эти первоисточники, чтобы извлечь уроки из этого исследования, и перефразировать или процитировать эти статьи, если применимо, чем использовать их интерпретацию модели.

Материалы журналов включены:

- в систему Российского индекса научного цитирования;
- отображаются в крупнейшей международной базе данных периодических изданий Ulrich's Periodicals Directory, что гарантирует значительное увеличение цитируемости;
- Всем статьям присваивается уникальный идентификационный номер Международного регистрационного агентства DOI Registration Agency. Мы формируем и присваиваем всем статьям и книгам, в печатном, либо электронном виде, оригинальный цифровой код. Префикс и суффикс, будучи прописанными вместе, образуют определяемый, цитируемый и индексируемый в поисковых системах, цифровой идентификатор объекта — digital object identifier (DOI).

[Отправить статью в редакцию](#)

Этапы рассмотрения научной статьи в издательстве NOTA BENE.



Содержание

Ратушняк Е.А. Анализ современных методов оптимизации в React	1
Конников Е.А., Крыжко Д.А. Двухступенчатая семантическая кластеризация эмбедингов как альтернатива LDA для инфометрического анализа отраслевых новостей	10
Федулов А.А. Проектирование архитектуры протокола клиент-серверного взаимодействия web-приложений на основе websocket	20
Конников Е.А., Поляков П.А., Родионов Д.Г. Спецификация регрессионного анализа воздействия информационной среды на финансовые показатели компании	31
Кирилов В.С. Обработка запросов с иерархическим характером разделяемых ресурсов	45
Тиханычев О.В. О разделении ответственности за ошибки эксплуатации робототехнических систем	59
Томилова С.Д., Шибяев Д.О. Автоматизация развертывания приложений Windows средствами GPO Альт Домена	72
Зотов В.В., Зотов М.В., Алексиадис Н.Ф., Юшин В.В. Методологический концепт организации информационной системы общественно-профессиональной экспертизы в сфере экологии и благоустройства	86
Кашко В.В., Олейникова С.А. Общий алгоритм ликвидации критических состояний для решения задачи управления реальным шагающим роботом на основе методов глубокого обучения с подкреплением	103
Скляр А.Я. Модели и алгоритмы нелинейного регрессионного анализа временных рядов	115
Конников Е.А., Поляков П.А., Старченкова О.Д., Сергеев Д.А. Инфометрический метод определения эффективной точки сброса гуманитарного груза с БПЛА в условиях ограниченности вычислительных ресурсов	129
Пекунов В.В. Интерполирующая и экстраполирующая мемоизация в языке Planning C	141
Англоязычные метаданные	155

Contents

Ratushniak E.A. Analysis of modern optimization methods in "React"	1
Konnikov E.A., Kryzhko D.A. Two-step semantic clustering of embeddings as an alternative to LDA for infometric analysis of industry news.	10
Fedulov A.A. Designing the architecture of the client-server interaction protocol for web applications based on websocket	20
Konnikov E.A., Polyakov P.A., Rodionov D.G. Specification of regression analysis of the impact of the information environment on the company's financial indicators	31
Kirilov V.S. Processing requests with hierarchical nature of shared resources	45
Tikhanychev O.V. On the division of responsibility for errors in the operation of robotic systems	59
Tomilova S.D., Shibaev D.O. Automating Windows Application deployment using Alt Domain GPO	72
Zotov V.V., Zotov M.V., Aleksiadis N.F., Yushin V.V. Methodological Concept for Organizing an Information System of Public and Professional Expertise in the Field of Ecology and Environmental improvement	86
Kashko V.V., Oleinikova S.A. A general algorithm for eliminating critical conditions for solving the problem of controlling a real walking robot based on deep reinforcement learning methods	103
Sklyar A.Y. Models and algorithms of nonlinear regression analysis of time series	115
Konnikov E.A., Polyakov P.A., Starchenkova O.D., Sergeev D.A. Infometric method for determining the effective drop point of humanitarian cargo from UAVs under limited computational resources.	129
Pekunov V.V. Interpolating and extrapolating memoization in the Planning C language	141
Metadata in english	155

Программные системы и вычислительные методы

Правильная ссылка на статью:

Ратушняк Е.А. Анализ современных методов оптимизации в React // Программные системы и вычислительные методы. 2025. № 3. DOI: 10.7256/2454-0714.2025.3.75278 EDN: CFXZBG URL:

https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=75278

Анализ современных методов оптимизации в React

Ратушняк Евгений Алексеевич

ORCID: 0009-0006-3609-4194

студент, факультет программной инженерии и компьютерной техники; Национальный исследовательский университет ИТМО

197101, Россия, г. Санкт-Петербург, Петроградский р-н, Кронверкский пр-кт, д. 49

✉ evgrat123@mail.ru



[Статья из рубрики "Математическое и программное обеспечение новых информационных технологий"](#)

DOI:

10.7256/2454-0714.2025.3.75278

EDN:

CFXZBG

Дата направления статьи в редакцию:

20-07-2025

Дата публикации:

27-07-2025

Аннотация: В статье проведён комплексный анализ методов оптимизации производительности React приложений: мемоизации (React.memo, useMemo, useCallback), виртуализации списков (react window, react virtualized), разделения кода (React.lazy, Suspense), оптимизации Context API и новых возможностей React18 (автоматический батчинг, Concurrent Mode). Приведённый анализ и данные о производительности основываются на различные научные исследования, а также на документацию самих методов оптимизации. Для измерения производительности React приложений разработчикам рекомендуется использовать React Profiler API и Chrome Performance. Разработано тестовое SPA с динамической фильтрацией данных и трёх вариантами рендеринга. С помощью ReactProfiler API измерено время обработки от 1000 до 20000 элементов десять сходящихся раз с последующей статистической обработкой. Методология включает комплексный теоретическое анализ, разбор механизмов

различных методов оптимизаций обновлений и их влияние на производительность. Научная новизна статьи заключается в комплексном анализе и практическом сравнении ключевых подходов к оптимизации во фреймворке React. Практическая значимость работы обосновывается тем, что результаты могут быть использованы непосредственно в коммерческой разработке программного обеспечения. Также в статье было проведено экспериментальное сравнение библиотек виртуализации списков с использованием компьютерного эксперимента, с последующим статистическим анализом. Результаты показали: react window обеспечивает до 95% прироста скорости и стабильность при росте нагрузки, а react virtualized предлагает расширенный функционал ценой слегка большей латентности, что подтверждается другими исследованиями. Статья содержит не только теоретическое описание, но и практические примеры, раскрывающие способы оптимизации в реальных приложениях, что подтверждает практическую значимость.

Ключевые слова:

оптимизация, React, производительность, одностраничные приложения, ленивая загрузка, разделение кода, react-window, react-virtualized, профилирование, веб-интерфейсы

Введение

В условиях стремительного роста сложности веб-приложений и требований к их производительности особую актуальность приобретает задача оптимизации пользовательских интерфейсов. Современные одностраничные приложения (SPA [\[1\]](#)), построенные с использованием библиотеки React [\[2, 11, 12\]](#), зачастую оперируют большими объёмами данных и сложной компонентной иерархией, что может приводить к значительным издержкам на повторные рендеры, задержкам интерфейса и ухудшению пользовательского опыта. В связи с этим разработка и внедрение эффективных стратегий оптимизации рендеринга становится важным направлением как в индустрии, так и в научно-прикладных исследованиях в области frontend-разработки.

Научная новизна настоящего исследования заключается в комплексном анализе и практическом сравнении ключевых подходов к оптимизации производительности в React, включая мемоизацию компонентов, виртуализацию списков, разделение кода, оптимизацию Context API, а также возможности, предоставляемые React 18, такие как автоматический батчинг и Concurrent Mode. Особое внимание уделяется сравнительной оценке двух широко используемых библиотек виртуализации — react-window и react-virtualized — в контексте реального применения на примере веб-приложения с динамической фильтрацией данных.

Практическая значимость работы состоит в том, что полученные результаты могут быть непосредственно использованы при разработке высокопроизводительных веб-интерфейсов, особенно в проектах с большим количеством отображаемых элементов, таких как таблицы, ленты новостей и административные панели. Представленные рекомендации и эмпирические данные позволяют сделать обоснованный выбор технологий и инструментов для повышения отзывчивости и масштабируемости интерфейсов.

Цель исследования — провести комплексный анализ и экспериментальную оценку эффективности различных методов оптимизации рендеринга в React-приложениях.

Объектом исследования являются клиентские фреймворки, а предметом исследования выступают оптимизации производительности в React.

Мемоизация компонентов в React

React.memo – это HOC-компонент, обёртывающий функциональный компонент. Он кэширует результат рендеринга, если входные пропсы не изменились, что позволяет уменьшить количество повторных рендеров. Сравнение пропсов при этом выполняется по ссылке. На практике применение React.memo значительно сокращает число лишних рендеров [13]: согласно эмпирическому исследованию, React.memo может снизить частоту повторных рендеров на 40–60% [3]. Это особенно полезно для чистых дочерних компонентов с неизменяемыми пропсами или статические компоненты, которые без мемоизации иначе перерисовывались бы при каждом обновлении родительского компонента.

Хуки useMemo и useCallback предназначены для локальной оптимизации [4]. Хук useMemo кэширует результат дорогостоящей функции и возвращает закэшированное значение, если зависимости не изменились. Это позволяет экономить время вычислений: по оценкам, использование useMemo может снизить затраты CPU на 25–35% при тяжёлых вычислениях. Хук useCallback сохраняет ссылку на функцию между рендерами [14], предотвращая её пересоздание. Он особенно эффективен, когда функция передаётся во вложенные компоненты или используется в зависимостях других хуков. Такой подход позволяет улучшить производительность до 25%.

Хотя мемоизация повышает производительность, её использование имеет издержки. Во-первых, дополнительный кэш требует памяти (примерно 0.2–0.4 КБ на компонент для React.memo) и CPU на сравнение зависимостей. Во-вторых, чрезмерное применение React.memo/useMemo/useCallback усложняет код и усложняет его поддержку. Поэтому хуки useMemo и useCallback стоит применять избирательно — только там, где выявлено реальное узкое место по производительности.

Библиотеки виртуализации в React

В экосистеме React для виртуализации списков наиболее распространены библиотеки react-window и react-virtualized. Обе предлагают готовые компоненты для отображения длинных списков без перегрузки DOM. Так, например, библиотека react-window ориентирована на простые сценарии с фиксированным размером элементов. Она проще и компактнее, но требует, чтобы высота/ширина ячеек была неизменной. В свою очередь react-virtualized предоставляет более богатый функционал: динамический подсчёт размеров ячеек, ленивую загрузку данных при скролле, синхронизацию прокрутки между несколькими списками.

- react-window: облегчённая библиотека для windowing. Быстрая, с простым API, но предполагает фиксированные размеры элементов и плоскую структуру списка.
- react-virtualized: более тяжёлая и функциональная. Поддерживает переменную высоту элементов, вложенные сетки и сложные сценарии (динамические размеры, синхронизация скrolла, загрузку по мере прокрутки).

Разделение кода

Code splitting (разделение кода) используется для минимизации времени загрузки приложения путём отделения второстепенных модулей от основного бандла [5]. В React

данная функциональность реализована через механизм динамического импорта, а именно — с помощью `React.lazy()` и компонента `Suspense`. Такой подход позволяет загружать компоненты по требованию, сокращая размер `initial bundle` до 50% [\[6\]](#) и ускоряя начальное отображение страницы.

При разделении кода даже на небольшие чанки возможно уменьшение времени первого рендера (`First Contentful Paint`) на 15–30%. Применение `Suspense` обеспечивает мягкую деградацию пользовательского опыта, предоставляя визуальные индикаторы ожидания загрузки. Тем не менее, данный механизм имеет ограничения: не поддерживает серверный рендеринг по умолчанию, требует жёсткого контроля точек разделения и может усложнить архитектуру при обилии вложенных асинхронных компонентов.

Оптимизация Context API

`Context API` позволяет реализовать глобальное состояние без использования сторонних библиотек, но он обладает существенным недостатком: любые изменения значения `value` провайдера вызывают повторный рендер всех потребителей вне зависимости от того, какие именно данные были изменены. В ряде исследований отмечается, что такая стратегия ведёт к существенным накладным расходам в интерфейсах с глубокой иерархией или частыми обновлениями состояний.

Одним из эффективных решений является декомпозиция глобального контекста на более узкоспециализированные подмодули (например, отдельные контексты для пользователя, темы, настроек и т.д.), что позволяет ограничить перерисовку только потребителями соответствующего значения [\[7\]](#). Также предлагается комбинировать `Context` с селекторами или использовать внешние библиотеки, обеспечивающие `fine-grained` подписки на изменения состояний.

Батчинг и Concurrent Mode

С выходом `React 18` были введены фундаментальные изменения в стратегию управления рендерами. Одной из важнейших новаций стал автоматический батчинг, расширивший область действия объединения `setState`-вызовов за пределы синтетических событий — теперь в единый рендер объединяются также обновления из `setTimeout` [\[15\]](#), `fetch` [\[16\]](#), и других асинхронных контекстов. Это позволяет снизить количество рендеров и увеличить плавность интерфейса.

Вторая ключевая особенность `React 18` — это `Concurrent Mode`, включающий механизм `time slicing` и асинхронного рендеринга. Он позволяет приостанавливать тяжелые вычисления в интерфейсе для обработки приоритетных задач, таких как ввод с клавиатуры или клики. Механизм реализован с помощью функций `startTransition`, `useTransition`, `useDeferredValue`. Эти средства позволяют разработчику вручную обозначить «некритичные» обновления, которые могут быть отложены без ущерба для UX. Исследования показывают, что внедрение `Concurrent Mode` снижает показатель `Total Blocking Time` до 40% в многофункциональных SPA.

Инструменты профилирования и метрики

Чтобы убедиться в эффективности оптимизаций, применяют профилирование и бенчмаркинг. `React` предоставляет `Profiler` [\[8, 9\]](#), который вызывает функцию обратного вызова при каждом коммите и передаёт времена рендеринга: текущую и базовую. Сравнивая их, можно понять, насколько снизилась нагрузка за счёт мемоизации и прочих оптимизаций.

Кроме того, используют встроенные инструменты браузера. В Chrome DevTools есть Performance-панель, где меряют FPS, время компоновки и т.п. Для веб-страниц часто отслеживают Core Web Vitals: First Contentful Paint, Time to Interactive, First Input Delay [10, 17].

Также полезны нагрузочное тестирование и эмуляция разных сетей. На практике хорошо фиксировать метрики до и после оптимизаций. Как правило, продакшн-сборки React [18] работают быстрее: профилирование показывает, что продакшн-сборки показывают производительность на 25–35% лучше, чем сборки в режиме разработчика.

Сравнение библиотек react-virtualized и react-window В исследовании проводится сравнительный анализ эффективности оптимизаций, реализованных в библиотеках виртуализации интерфейсов — react-virtualized и react-window. С этой целью было разработано веб-приложение, предназначенное для табличного отображения данных с поддержкой динамической фильтрации с использованием строки поискового запроса. Такой подход позволяет эмпирически оценить производительность и ресурсоэффективность каждой из библиотек при работе с большими объёмами данных. На рисунке 1 представлен код, который реализует мемоизированную фильтрацию и сортировку массива объектов на основе заданного поискового запроса и направления сортировки. Сначала происходит фильтрация элементов массива items путём поиска подстроки запроса в заголовке каждого элемента без учёта регистра. Основываясь на параметре сортировки, результирующий массив инвертируется для обеспечения убывающего порядка. Использование хука useMemo гарантирует, что вычисления будут производиться только при изменении одной из зависимостей: запроса, сортировка или флаг сортировки, что способствует оптимизации производительности компонента.

```
const filteredItems = useMemo(() => {
  let filtered = items.filter((item) => item.title.toLowerCase().includes(query.toLowerCase()));
  if (!sortAsc) {
    filtered = [...filtered].reverse();
  }
  return filtered;
}, [query, sortAsc, items]);
```

Рисунок 1 – Фильтрация элементов с использованием мемоизации

На рисунке 2 представлен код, который реализует асинхронное обновление состояния с использованием хука useTransition [19]. При изменении значения в поле ввода вызывается функция обработки нового значения, которая инициирует переходное обновление состояния запроса через функцию startTransition. Это позволяет отнести данное обновление к задачам с низким приоритетом, снижая нагрузку на главный поток и сохраняя отзывчивость пользовательского интерфейса во время интенсивных операций. Переменная isPending отражает текущее состояние перехода, что позволяет при необходимости отображать индикатор загрузки.

```
const [isPending, startTransition] = useTransition();

const handleChange = (e) => {
  const value = e.target.value;
  startTransition(() => {
    setQuery(value);
  });
};
```

Рисунок 2 – Пример использования useTransition Пример работы разработанного сайта на рисунке 3.



Рисунок 3 – Пример работы приложения

В базовой версии разрабатываемого приложения осуществляется рендеринг статического массива, содержащего N элементов. Также реализован механизм фильтрации, при котором ввод запроса в текстовое поле инициирует динамическую перерисовку значительного числа элементов пользовательского интерфейса в режиме реального времени. Во втором и третьем вариантах приложения к тому же набору данных применяется технология виртуализации с использованием библиотек react-window и react-virtualized соответственно. Для всех трёх реализаций производится измерение времени рендеринга, что позволяет количественно оценить влияние виртуализации на производительность интерфейса при обработке больших объёмов данных.

Каждая из реализованных версий приложения проходит не менее десяти независимых запусков с целью обеспечения статистической надёжности результатов. В качестве инструмента для измерения производительности используется React Profiler API [20], который позволяет осуществлять точечные замеры времени рендеринга отдельных компонентов, обеспечивая детализированную оценку эффективности визуализации в различных сценариях.

Результаты скорости применения фильтра к данным представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерения производительности виртуализации

Количество элементов, шт	Базовая версия, мс	Виртуализация списка react-window, мс	Виртуализация списка react-virtualized, мс
1000	94	5	9
2000	153	4	10
3000	174	4	10
4000	221	4	10
5000	264	4	10
7500	289	6	9
10000	343	5	10
12500	428	6	11
15000	545	6	11
17500	669	7	11
20000	782	7	10

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод о более высокой производительности библиотеки react-window по сравнению с react-virtualized. При этом

эффективность react-window остаётся стабильной вне зависимости от общего количества элементов в списке. Дополнительно, применение механизмов виртуализации прокрутки обеспечивает отображение исключительно тех элементов, которые находятся в пределах видимой области (viewport), что существенно снижает нагрузку на систему и обеспечивает значительное повышение производительности по сравнению с базовой реализацией.

Заключение

В данной работе был проведён обзор и эмпирический анализ современных подходов к оптимизации производительности пользовательских интерфейсов на базе React. Рассмотренные технологии — мемоизация, виртуализация списков, разделение кода, оптимизация Context API, а также возможности React 18, а именно автоматический батчинг и Concurrent Mode — играют ключевую роль в построении отзывчивых и масштабируемых веб-приложений.

В экспериментальной части особое внимание было уделено сравнению производительности двух популярных библиотек виртуализации: react-window и react-virtualized. Результаты тестирования, выполненные с использованием React Profiler, показали, что react-window обеспечивает наилучшую производительность при рендеринге больших списков — с минимальным временем отклика, сохраняющим стабильность даже при увеличении количества элементов до 20000. В то время как react-virtualized демонстрирует более высокую универсальность, его производительность в ряде случаев незначительно уступает react-window.

Библиография

1. Iseal, S. Edge Computing and React: Enhancing Performance at the Edge. – 2025. – С. 24.
2. Сугаипов, С. А. А., Гериханов, З. А. Оптимизация веб-разработки с помощью React, Angular и Vue // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – № 98-10. – С. 141-143. – DOI 10.18411/trnio-06-2023-565. – EDN HYNKWA.
3. Veeranjaneyulu, V. Performance Optimization Techniques in React Applications: A Comprehensive Analysis // International Journal of Research in Computer Applications and Information Technology. – 2024. – Т. 7, № 2. – С. 1165–1177.
4. Савкин, С. С., Логвинов, Д. В. Оптимизационные возможности JavaScript-библиотеки REACT 18 // Вызовы глобализации и развитие цифрового общества в условиях новой реальности: сборник материалов IV Международной научно-практической конференции, Москва, 19 декабря 2022 года. – Москва: Алеф, 2022. – С. 126-129. – DOI 10.34755/IROK.2022.97.75.019. – EDN ALNIUP.
5. Чэнь, К. Improving Front-end Performance through Modular Rendering and Adaptive Hydration (MRAH) in React Applications. – 2025. – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2504.03884>, свободный.
6. Toprak, Ahmet, Toprak, Feyzanur. Improving and Optimizing React Web Applications: Strategies and Techniques. – 2025. – С. 17.
7. Пирюшов, А. С., Пирюшов, М. С. Сравнительный анализ времени рендеринга компонентов при использовании различных инструментов управления состояниями в React-приложениях // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2024. – Т. 9, № 3(41). – С. 79-87. – EDN KPOFLF.
8. Ким, А. Оптимизация ре-рендеринга компонентов инструментами React // Научно-технические инновации и веб-технологии. – 2022. – № 1. – С. 4-10. – EDN JHYSXA.
9. Dudak, A. Optimization of loading and performance in SPA on React // Тенденции

- развития науки и образования. – 2024. – № 116-19. – С. 183-187. – DOI 10.18411/trnio-12-2024-899. – EDN JJQMMK.
10. Iseal, S. Performance Benchmarking Techniques for React Applications. – 2025. – С. 14.
11. Кравцов, Е. П. Разработка высокопроизводительных React-приложений: методы и практики оптимизации // European science. – 2024. – № 1 (69).
12. Яровая, Е. В. Нестандартные архитектура в написание веб приложений // Столыпинский вестник. – 2022.
13. Dubaj, S., Pańczyk, B. Comparative of React and Svelte programming frameworks for creating SPA web applications // Journal of Computer Sciences Institute. – 2022. – Т. 25. – С. 345-349. – DOI 10.35784/jcsi.3020. – EDN AYUSVM.
14. Karić, A., Durmić, N. Comparison of JavaScript Frontend Frameworks-Angular, React, and Vue // International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT). – 2024. – С. 1383-1390. – DOI 10.38124/ijisrt/ijisrt.
15. Kasenda, R., Tenda, J., Iman, E., Manantung, J., Moekari, Z., Pantas, M. The Role and Evolution of Frontend Developers in the Software Development Industry // Jurnal Syntax Admiration. – 2024. – Т. 5. – С. 5191-5196. – DOI 10.46799/jsa.v5i11.1852.
16. Karka, Narender. Front-End Performance Optimization: A Comprehensive Guide // International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology. – 2025. – Т. 11. – С. 83-100. – DOI 10.32628/CSEIT251112389.
17. Mathew, Prakash. Front-End Performance Optimization for Next-Generation Digital Services // Journal of Computer Science and Technology Studies. – 2025. – Т. 7. – С. 993-1000. – DOI 10.32996/jcsts.2025.7.4.111.
18. Yan, Fenglong, Xu, Zhao, Zhong, Yu, HaiBei, Zhang, Ge, Chang. Research on Performance Optimization Scheme for Web Front-End and Its Practice. – 2021. – DOI 10.1007/978-981-15-8411-4_118.
19. Saks, E. JavaScript frameworks: Angular vs React vs Vue. – 2019.
20. Paakkanen, J. Upcoming JavaScript Web Frameworks and Their Techniques. – LUT University, 2022. – 62 с.

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Представленная статья на тему «Анализ современных методов оптимизации в React» соответствует тематике журнала «Программные системы и вычислительные методы» и посвящена вопросу оптимизации пользовательских интерфейсов. Данная тема приобретает особую актуальность в условиях стремительного роста сложности веб-приложений и требований к их производительности.

В статье представлен достаточно широкий анализ литературных российских и зарубежных источников по теме исследования.

Авторами в статье указана цель исследования, которая заключается в проведении комплексного анализа и экспериментальной оценки эффективности различных методов оптимизации рендеринга в React-приложениях. В качестве объекта исследования авторы указывают клиентские фреймворки, а предметом исследования выступают оптимизация производительности в React.

В качестве научной новизны авторами указан комплексный анализ и практическое сравнение ключевых подходов к оптимизации производительности в React, включая мемоизацию компонентов, виртуализацию списков, разделение кода, оптимизацию Context API, а также возможности, предоставляемые React 18, такие как автоматический

батчинг и Concurrent Mode.

Стиль и язык изложения материала является научным и доступным для широкого круга читателей. Статья по объему соответствует рекомендуемому объему от 12 000 знаков.

Статья достаточно структурирована - в наличии введение, заключение, внутреннее членение основной части (Мемоизация компонентов в React, Библиотеки виртуализации в React, Разделение кода, Оптимизация Context API, Батчинг и Concurrent Mode, Инструменты профилирования и метрики).

Теоретико-методологической основой исследования послужили работы таких авторов как Сугаипов, С. А. А., Гериханов, З. А.; Veeranjanyulu, V. ; Савкин, С. С., Логвинов, Д. В; Пирюшов, А. С., Пирюшов, М. С.; Kasenda, R., Tenda, J., Iman, E., Manantung, J., Moekari, Z., Pantas, M. и др.

Практическая значимость работы как указывают авторы состоит в том, что полученные результаты могут быть непосредственно использованы при разработке высокопроизводительных веб-интерфейсов, особенно в проектах с большим количеством отображаемых элементов, таких как таблицы, ленты новостей и административные панели. Авторами представлены рекомендации и эмпирические данные, которые позволяют сделать обоснованный выбор технологий и инструментов для повышения отзывчивости и масштабируемости интерфейсов.

В заключении авторы указали результаты сравнения производительности двух популярных библиотек виртуализации: react-window и react-virtualized. Результаты тестирования, выполненные с использованием React Profiler, показали, что react-window обеспечивает наилучшую производительность при рендеринге больших списков — с минимальным временем отклика, сохраняющим стабильность даже при увеличении количества элементов до 20000. В то время как react-virtualized демонстрирует более высокую универсальность, его производительность в ряде случаев незначительно уступает react-window.

Статья «Анализ современных методов оптимизации в React» может быть рекомендована к публикации в журнале «Программные системы и вычислительные методы».

Программные системы и вычислительные методы

Правильная ссылка на статью:

Конников Е.А., Крыжко Д.А. Двухступенчатая семантическая кластеризация эмбедингов как альтернатива LDA для инфометрического анализа отраслевых новостей // Программные системы и вычислительные методы. 2025. № 3. DOI: 10.7256/2454-0714.2025.3.75348 EDN: HSKPLS URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=75348

Двухступенчатая семантическая кластеризация эмбедингов как альтернатива LDA для инфометрического анализа отраслевых новостей

Конников Евгений Александрович

кандидат экономических наук

доцент, институт промышленного менеджмента, экономики и торговли; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

194021, Россия, г. Санкт-Петербург, Выборгский р-н, ул. Новороссийская, д. 50

✉ konnikov.evgeniy@gmail.com



Крыжко Дарья Александровна

кандидат экономических наук

доцент, институт промышленного менеджмента, экономики и торговли; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

194021, Россия, г. Санкт-Петербург, Выборгский р-н, ул. Новороссийская, д. 50

✉ darya.kryz@yandex.ru



[Статья из рубрики "Системный анализ, поиск, анализ и фильтрация информации"](#)

DOI:

10.7256/2454-0714.2025.3.75348

EDN:

HSKPLS

Дата направления статьи в редакцию:

27-07-2025

Дата публикации:

03-08-2025

Аннотация: Предметом исследования является разработка и валидация

альтернативного подхода к тематическому моделированию текстов, направленного на преодоление ограничений классического латентного размещения Дирихле (LDA). Объектом исследования выступают короткие русскоязычные новостные тексты об атомной энергетике, представленные в виде корпуса «AtomicNews». Авторы подробно рассматривают такие аспекты темы, как влияние разреженности на качество тематического моделирования, проблемы интерпретируемости тем и ограничения априорной фиксации числа тем. Особое внимание уделяется геометрической интерпретации семантики текстов, в частности, преобразованию лексических единиц в пространство предобученных эмбедингов и последующей кластеризации с целью формирования документных тематических профилей. Исследование фокусируется на сравнительном анализе нового метода и LDA по метрикам когерентности, перплексии и тематического разнообразия. Предлагаемый подход направлен на создание интерпретируемой, вычислительно лёгкой и устойчивой к шуму модели, пригодной для онлайн-мониторинга новостных потоков. Методология исследования основана на двухступенчатом семантическом сглаживании – эмбединг-репрезентации лемм с помощью Sentence-BERT и агломеративной косинусной кластеризации с последующим применением K-means к тематическим профилям документов. Научная новизна исследования заключается в разработке и эмпирическом обосновании схемы тематического моделирования, заменяющей вероятностную генерацию слов на геометрическое сглаживание эмбедингов. Предложенный подход отказывается от предпосылок «мешка слов» и фиксированного числа тем, формируя тематические координаты документов через плотностные кластеры в семантическом пространстве. Это позволяет повысить интерпретируемость тем, снизить чувствительность к разреженности текстов и избежать коллапса распределения тем в коротких сообщениях. Эксперименты на корпусе «AtomicNews» показали статистически значимое улучшение по сравнению с классической LDA: снижение перплексии на 5 %, рост когерентности тем на 0.15 пункта и увеличение тематического разнообразия. Метод также продемонстрировал вычислительную эффективность – вся процедура занимает секунды на CPU, что делает его пригодным для применения в условиях ограниченных ресурсов. Таким образом, переход от вероятностной декомпозиции к геометрическому анализу эмбедингов представляет собой перспективное направление в тематическом моделировании отраслевых текстов.

Ключевые слова:

тематическое моделирование, эмбединги слов, косинусная кластеризация, когерентность тем, латентное размещение Дирихле, Sentence-BERT, текстовая информация, лемматизация, тематический профиль, медиамониторинг

Работы выполнены в рамках реализации проекта "Разработка методологии формирования инструментальной базы анализа и моделирования пространственного социально-экономического развития систем в условиях цифровизации с опорой на внутренние резервы" (FSEG-2023-0008)

Введение

Латентное размещение Дирихле (LDA) на протяжении последних двух десятилетий стало одним из наиболее распространённых подходов для тематического моделирования текстов [\[1\]](#). Данная вероятностная модель генерирует фиксированный набор тем и представляет каждый документ в виде распределения этих тем, что доказало свою

эффективность при кластеризации текстовых коллекций и обеспечении достаточно связных наборов ключевых слов для многих приложений [2]. Тем не менее, классическая LDA накладывает ряд упрощающих априорных предположений, которые не всегда соответствуют реальному характеру данных [3]. Во-первых, модель предполагает условную независимость слов в документе и не учитывает порядок слов, из-за чего теряется лингвистический контекст. Это приводит к тому, что LDA не способна различать значения омонимичных слов и учитывать устойчивые словосочетания [4,5]. Во-вторых, требование зафиксировать число тем K заранее является серьезным ограничением: на практике оптимальное значение K неизвестно и может варьироваться для разных корпусов документов [6]. Непараметрические расширения позволяют делать K переменным случайным параметром, но они усложняют построение модели и повышение интерпретируемости результатов [6,7]. В-третьих, LDA испытывает трудности при моделировании коротких текстов, где наблюдается острая разреженность данных и низкая совстречаемость слов [8]. Как показано в исследованиях, традиционные методы вроде LDA заметно деградируют на коротких сообщениях (например, в социальных сетях) именно из-за нехватки статистики совместной встречаемости терминов [9]. Даже при успешном выделении тем LDA распределяет все темы «на равных» и не предоставляет средств автоматически оценить, какие из них наиболее осмысленны или полезны для аналитика [6]. Наконец, качество тематической модели существенно зависит от гиперпараметров (таких как параметры дирихлеевских распределений α и β). Их оптимизация затруднена, поскольку изменение этих параметров или дополнительных регуляризаторов может непредсказуемо влиять на получаемые темы [10]. Например, даже широко используемая мера перплексии не всегда адекватно отражает качество тем, перплексия монотонно уменьшается с увеличением сложности модели и не имеет явного минимума, из-за чего ее снижение не гарантирует улучшения интерпретируемости. Более того, перплексия не чувствительна к устранению стоп-слов и не позволяет напрямую сравнивать модели с разными словарями или учитывать биграммы. В то же время, такая прикладная мера как когерентность тем, напротив, показала высокую корреляцию с качеством тематической интерпретации по мнению человека-эксперта [6].

Ограничения базовой модели LDA стимулировали появление множества усовершенствованных методик тематического моделирования. Во-первых, были предложены модели, учитывающие динамику тем во времени и позволяющие отличать устаревшие темы от новых [11]. Например, динамическая тематическая модель (DTM) и частично маркированная LDA (PLDA) интегрируют временную информацию и метки для эволюции тем [1], а модель Filtered-LDA специально выделяет «фоновую» часть корпуса для отсека старых тем и выявления новых «горячих» тем. Во-вторых, получили развитие подходы с добавочной регуляризацией — многокритериальные алгоритмы, накладывающие априорные ограничения на темы с целью повышения интерпретируемости [12]. В частности, методика ARTM (Additive Regularization of Topic Models) позволяет добавлять к функции правдоподобия любой вспомогательный регуляризационный функционал $R(\Phi, \Theta)$, умноженный на коэффициент τ , и таким образом гибко управлять свойствами получаемых тем [6]. Подбор оптимального набора регуляризаторов и их коэффициентов – отдельная нелинейная задача, решение которой усложняется при одновременной оптимизации нескольких параметров [10]. В-третьих, с развитием методов глубокого обучения и распределенных представлений слов были

предложены гибридные модели, сочетающие вероятностное тематическое моделирование с нейросетевыми компонентами. Эти подходы призваны устранить главное упрощение LDA – отсутствие учета семантической близости слов. Например, нейросетевая Embedded Topic Model (ETM) представляет каждое слово не условным дискретным идентификатором, а вектором в пространстве смыслов, и определяет вероятность $p(w|z = k)$ как макс от скалярного произведения эмбединга слова e_w и вектора темы u_k [13]. Таким образом, слова с близкими значениям эмбедингами (т.е. с близким значением векторного представления) априори получают более схожие апостериорные вероятности при отнесении к конкретной теме. Это позволяет обойти структурные ограничения LDA и учитывать семантические связи между словами [14]. Нейронные версии тематических моделей (NTM) в целом предлагают более гибкий подход за счёт замены стохастического порождения тем обучением параметров сети; кроме того, они легко интегрируются с другими нейросетевыми архитектурами. Например, объединение тематической модели с трансформером BERT показало улучшение качества классификации текстов за счёт учёта скрытых тематических переменных при обучении модели языка [15]. Другой перспективный подход – использование prompt learning. Встроенные подсказки для нейросети позволяют ей самой генерировать содержательные названия тем и избегать ряда ограничений LDA и вариационного автокодировщика (VAE) [14]. Наконец, ряд современных работ посвящён объединению тематического моделирования с методами контроля качества и интерпретации. Например, в работе [16] выполнено сравнение четырёх различных алгоритмов тематического моделирования (LDA, pLSA, NMF и BERTopic на основе трансформеров) на корпусе отчётов о инцидентах в авиации, показавшее, что различные модели дают отличающиеся по качеству и смыслу разбиения текста на темы. Таким образом, выбор методики существенно влияет на результаты анализа текстовых данных. Одновременно появляются работы, интегрирующие supervised-подходы в тематическое моделирование – например, за счёт одновременного обучения классификатора по меткам документов для более чёткого выделения значимых тем [17-19] или включения сентиментного анализа в модель [20]. Указанные направления демонстрируют, что преодоление недостатков базовой LDA требует комплексных решений, сочетающих вероятностную теорию, глубинное обучение и дополнительные знания о данных.

Цель работы – разработать метод тематического моделирования, лишённый ограничений классической LDA и обеспечивающий более высокое качество тематического разбиения текстов. В частности, в качестве основных улучшений рассматриваются учёт семантической близости терминов посредством внедрения предобученных эмбедингов слов, повышение интерпретируемости результатов за счёт увеличения когерентности тем, обеспечение стабильности модели на коротких текстах за счёт сглаживания разреженности. Для достижения поставленной цели предлагается вероятностная модель, расширяющая классическую LDA введением дополнительного непрерывного скрытого пространства смыслов.

Методология исследования

Предлагаемый метод основывается на двуступенчатом снижении размерности исходного текстового пространства, где первая ступень переводит разреженные совокупности слов в компактное непрерывное пространство эмбедингов, а вторая агрегирует это пространство в конечный набор семантических кластеров, служащих тематическими координатами документов. Пусть V — отфильтрованный словарь лемм, полученный после устранения стоп-слов и редких токенов ($f(w) \geq 5, |w| \geq 3$). Каждой лемме $w \in V$

сопоставляется вектор $v_w \in R^{384}$, вычисленный предобученной моделью Sentence-BERT, так что высокоразмерное дискретное пространство слов заменяется плотным евклидовым многообразием. На V задаётся косинусная метрика $d(w_i, w_j) = 1 - \frac{v_{w_i}^T v_{w_j}}{\|v_{w_i}\| \|v_{w_j}\|}$, и дальнейший анализ трактует тематику корпуса как структуру плотностных аномалий в этом метрическом пространстве. Дендрограмма, построенная агломеративным алгоритмом со средним связыванием над попарными расстояниями d , порождает семейство вложенных разбиений; оптимальная высота сечения h^* выбирается по максимуму средневзвешенного силуэта $Sil(h) = |V|^{-1} \sum_w \frac{b(w, h) - a(w, h)}{\max\{a(w, h), b(w, h)\}}$, обеспечивая наилучшее внутрекластерное сходство при достаточном межкластерном разделении. Полученное множество кластеров $C = \{C_1, \dots, C_K\}$ очищается от групп, содержащих менее пяти лемм, что формирует компактный базис семантических прототипов.

Каждый документ d затем описывается вероятностным вектором $x_d = (x_{d1}, \dots, x_{dK})$, где $x_{dk} = |T_d|^{-1} \sum_{w \in T_d} lem(w) \in C_k$ отражает относительную долю токенов из кластера C_k ; таким образом $\sum_k x_{dk} = 1$ и x_d лежит в симплексе размерности $K-1$. Векторизация переводит текст из исходного дискретного пространства размерности $|V|$ в существенно более низкоразмерное пространство R^K , где K выбирается автоматически в диапазоне. Для выявления макроструктуры корпуса на этом втором уровне применяется K-means; число документных кластеров K^{doc} фиксируется как максимум среднего силуэта по $k \in \{2, \dots, 14\}$ после стандартизации векторов x_d . Двойная редукция — сначала $R^{|V|} \rightarrow R^{384}$ (эмбединг), затем $R^{384} \rightarrow R^K$ (кластеризация лемм) — обеспечивает устойчивое подавление шума частот и сводит тематическое кодирование документа к компактному и интерпретируемому признаковому представлению. Итоговое множество тем получает человекочитаемые наименования посредством генеративной языковой модели, которой передаются топ-леммы каждого C_k .

Результаты

Для эмпирической валидации описанной выше двухуровневой семантической процедуры был сформирован специализированный корпус «AtomicNews», включающий $D=500$ русскоязычных новостных заметок об атомной энергетике. Средняя длина документа составляет 110 ± 34 слов, что отражает характер кратких сообщений информационных агентств. После предобработки — лемматизации, удаления стоп-слов и фильтрации редких токенов — словарь насчитывал $V \approx 8000$ лемм. Значение верхней границы количества тем для базовой LDA подбиралось эмпирически в диапазоне $K \in (5, 15)$; минимальная перплексия на отложенной (20 %) выборке была достигнута при $K=8$, поэтому все сравнительные расчёты проводились для этого значения. LDA обучалась вариационным байесовским алгоритмом с гиперпараметрами $\alpha=0.1$, $\beta=0.01$, задающими умеренную апостериорную разреженность распределений тем и слов.

Разработанная нами модель использует полученные Sentence-BERT-векторы как основу для косинусной иерархической кластеризации лемм; оптимальный порог сечения дендрограммы составил $h^* = 0,633$, что дало $K=25$ кластеров, удовлетворяющих условию $|C_k| \geq 5$. Вектор тематического профиля документа x_d формировался как нормированная частота кластеров лемм, после чего матрица X подвергалась z-стандартизации и K-means-кластеризации. Максимальный средний силуэт достигнут при $K^{doc} = 12$. В таблице 1 представлен сравнительный анализ качества кластеризации.

Таблица 1 – Сравнительный анализ качества кластеризации

Модель	Перплексия	C_{UMass}	Topic Diversity
LDA (8 тем)	1040	-1.02	0.93
Предлагаемый метод	988	-0.87	0.95

Уменьшение перплексии на $\sim 5\%$ свидетельствует о более точном воспроизведении вероятностной структуры документов даже без явной генеративной схемы; однако основное преимущество проявилось в росте когерентности (с -1.02 до -0.87). Разница $\Delta C_{UMass} = 0.15$ статистически значима ($p < 0.01$, бутстрап 1000 переобучений) и указывает на то, что слова внутри каждой тематической группы, найденной новой моделью, демонстрируют более высокую совместную встречаемость. Практическая интерпретация этой разницы очевидна: LDA-тема «технический блок» включала, кроме релевантных лемм реактор, топливо, давление, посторонний термин Парламент; в соответствующей теме нашего метода посторонний термин исчез, а в топ-10 вошёл семантически связанный модернизация. Метрика разнообразия тем также увеличилась. Каждая выделенная тема содержит почти исключительно уникальные ядровые леммы и меньше пересекается с другими списками, что подтверждает декоррелирующий эффект косинусной кластеризации.

Особый интерес представляет поведение моделей на коротких текстах (до 100 слов), которых в «AtomicNews» 48 % от общего объёма. LDA отнесла 60 % таких документов к одной «доминирующей» теме с вероятностью > 0.9 ; предложенный метод сократил эту долю до 40 %, распределив остаток по двум-трём релевантным темам. Таким образом, учёт латентных эмбедингов лемм сглаживает эффект разреженности и позволяет различать даже тонкие тематические оттенки, присутствующие в малых текстах.

Полученные результаты подтверждают, что предложенная схема «эмбединги \rightarrow кластеризация лемм \rightarrow тематический профиль документов» обеспечивает более высокую когерентность, лучшее разнообразие и большую устойчивость на коротких текстах, чем классическая LDA при равном числе тем. Следовательно, двухступенчатое снижение размерности действительно повышает качество тематического описания корпуса, сохраняя при этом интерпретируемость и простоту последующей визуализации.

Дискуссия

Полученные результаты позволяют рассматривать описанную двухступенчатую схему как перспективную альтернативу классическому вероятностному моделированию тем в задачах анализа коротких отраслевых новостей. Прежде всего заметим, что рост когерентности тем на 0.15 UMass-пунктов при одновременном снижении перплексии противоречит традиционному наблюдению о неконгруэнтности этих метрик и свидетельствует о том, что геометрическое сглаживание на уровне лемм устраняет часть стохастического шума, к которому чувствительна LDA. Феномен можно трактовать через теорию плотностных кластеров – косинусная агломерация эмбедингов аппроксимирует локальные многообразия распределения слов; тем самым внутри каждого C_k оказывается зафиксирована область высокой семантической кривизны, куда LDA при условии «мешка слов» попросту не способна «заглянуть».

Особое значение имеет устойчивость метода на коротких текстах. Для контентов, где совстречаемость терминов низка, классические вероятностные подходы вынужденно переходят в режим «topic sparsity collapse», фактически редуцируя распределение θ_d к вектору с одним \approx единичным компонентом. Эмбединг-кластерная схема, напротив,

сохраняет достаточную детализацию, поскольку относительная доля тематического кластера определяется не количеством различных токенов, а их принадлежностью к уже сгруппированным прототипам. С теоретической точки зрения здесь реализуется эффект трансдуктивного переноса. Информация о семантическом родстве слов, накопленная на всей коллекции, «передаётся» каждому отдельному документу, компенсируя их индивидуальную разреженность.

С практической стороны ценно, что вся процедура сохранила вычислительную лёгкость. Агломеративная кластеризация лемм (≈ 3000 точек) выполняется за секунды, тогда как полное вариационное обучение ЕТМ для такого корпуса потребовало бы десятки эпох на GPU. Низкая ресурсоёмкость делает метод пригодным для онлайн-аналитики.

Заключение

В работе предложена и экспериментально обоснована геометрическая парадигма тематического моделирования, опирающаяся на предварительную косинусную агрегацию предобученных эмбедингов лексических единиц с последующим формированием документ-тематических профилей в пониженной размерности. Концептуальная новизна метода состоит в отказе от стохастического порождения слов классической LDA и переходе к трактовке тем как плотностных конгломератов в непрерывном семантическом пространстве; это позволяет устранить ключевые ограничения «мешка слов», связанные с потерей контекста, зависимостью от заранее фиксированного KKK и деградацией на коротких текстах.

Эксперимент на отраслевом корпусе «AtomicNews» ($D=500$ документов, $V \approx 8000$ лемм) показали, что предложенный двухступенчатый алгоритм обеспечивает статистически значимое снижение перплексии (-5%) и рост когерентности тем ($+0,15$ UMass-пунктов) по сравнению с оптимально настроенной LDA при равном числе тем. Дополнительные преимущества проявились в большем тематическом разнообразии (Topic Diversity 0.95) и устойчивом распознавании латентных аспектов в коротких сообщениях, где традиционная LDA склонна к коллапсу разреженных распределений. Приятным побочным эффектом стала вычислительная экономичность Агломеративная кластеризация ≈ 3000 эмбедингов выполняется за несколько секунд на CPU, что делает метод пригодным для онлайн-медиамониторинга.

Тем не менее метод по-прежнему зависит от качества внешних эмбедингов и глобального выбора порога h^* , фиксирующего число лемм-кластеров; в перспективе планируется внедрение HDBSCAN-подобного отсека, чувствительного к локальной плотности, совместное контрастивное дообучение эмбедингов на целевом корпусе и интеграция временной компоненты для отслеживания эволюции тем. Несмотря на эти нерешённые вопросы, полученные результаты демонстрируют, что переход от вероятностной декомпозиции к геометрическому сглаживанию эмбедингов является продуктивным направлением развития тематических моделей и может служить эффективным инструментом анализа отраслевых новостных потоков, особенно в условиях ограниченных вычислительных ресурсов и высокого уровня текстовой разреженности.

Благодарности. Работы выполнены в рамках реализации проекта "Разработка методологии формирования инструментальной базы анализа и моделирования пространственного социально-экономического развития систем в условиях цифровизации с опорой на внутренние резервы" (FSEG-2023-0008)

Библиография

1. Alattar F., Shaalan K. Emerging research topic detection using filtered-Ida // AI. – 2021. – Т. 2. – № 4. – С. 578-599.
2. Kim M., Kim D. A suggestion on the LDA-Based topic modeling technique based on ElasticSearch for Indexing Academic Research Results // Applied Sciences. – 2022. – Т. 12. – № 6. – С. 3118.
3. Qiu M. et al. A topic modeling based on prompt learning // Electronics. – 2024. – Т. 13. – № 16. – С. 3212.
4. Ogunleye B. et al. Comparison of topic modelling approaches in the banking context // Applied Sciences. – 2023. – Т. 13. – № 2. – С. 797.
5. Vargas C., Ponce H. Recurrent embedded topic model // Applied Sciences. – 2023. – Т. 13. – № 20. – С. 11561.
6. Krasnov F., Sen A. The number of topics optimization: Clustering approach // Machine Learning and Knowledge Extraction. – 2019. – Т. 1. – № 1. – С. 25.
7. Williams L. et al. Topic modelling: Going beyond token outputs // Big Data and Cognitive Computing. – 2024. – Т. 8. – № 5. – С. 44. DOI: 10.3390/bdcc8050044 EDN: WGBWYP
8. Родионов Д. Г. и др. Автоматизированный алгоритм квантификации наиболее вероятного значения региона профессионального становления представителя научно-исследовательского коллектива для целей калькулирования коэффициента мультикультурализма // Экономические науки. – 2021. – № 202. – С. 154-163. DOI: 10.14451/1.202.154 EDN: LETTFT
9. Murakami R., Chakraborty B. Investigating the efficient use of word embedding with neural-topic models for interpretable topics from short texts // Sensors. – 2022. – Т. 22. – № 3. – С. 852. DOI: 10.3390/s22030852 EDN: GXMHBG
10. Koltcov S. et al. Analyzing the influence of hyper-parameters and regularizers of topic modeling in terms of renyi entropy // Entropy. – 2020. – Т. 22. – № 4. – С. 394. DOI: 10.3390/E22040394 EDN: KXJCBE
11. Родионов Д. Г. и др. Тематическое моделирование информационной среды медиакомпаний: инструментальный комплекс LDA-TF-IDF // Мягкие измерения и вычисления. – 2024. – Т. 76, № 3. – С. 72-84. DOI: 10.36871/2618-9976.2024.03.006 EDN: COCJYG
12. Конников Е. А. и др. Методическая детализация процесса моделирования свойств сущностно-содержательного посыла, кодируемого в форме символьных конструкторов данных // Экономический вестник. – 2024. – Т. 3, № 2. – С. 8-18.
13. Cheng H. et al. A neural topic modeling study integrating SBERT and data augmentation // Applied Sciences. – 2023. – Т. 13. – № 7. – С. 4595.
14. Qiu M. et al. A topic modeling based on prompt learning // Electronics. – 2024. – Т. 13. – № 16. – С. 3212.
15. Um T., Kim N. A study on performance enhancement by integrating neural topic attention with transformer-based language model // Applied Sciences. – 2024. – Т. 14. – № 17. – С. 7898.
16. Nanyonga A. et al. Does the Choice of Topic Modeling Technique Impact the Interpretation of Aviation Incident Reports? A Methodological Assessment // Technologies. – 2025. – Т. 13. – № 5. – С. 209.
17. Родионов Д. Г., Карпенко П. А., Пашинина П. А. Квантификация информационной среды как инструмент инвестиционного анализа // Экономические науки. – 2021. – № 204. – С. 144-153. DOI: 10.14451/1.204.144 EDN: FOZMSH
18. Марков А. К. и др. Сравнительный анализ применяемых технологий обработки естественного языка для улучшения качества классификации цифровых документов // International Journal of Open Information Technologies. – 2024. – Т. 12. – № 3. – С. 66-77. EDN: TUBOSI

19. Pais N., Ravishanker N., Rajasekaran S. Supervised Dynamic Correlated Topic Model for Classifying Categorical Time Series // Algorithms. – 2024. – Т. 17. – № 7. – С. 275. DOI: 10.3390/a17070275 EDN: JFXYZW
20. Farkhod A. et al. LDA-based topic modeling sentiment analysis using topic/document/sentence (TDS) model // Applied Sciences. – 2021. – Т. 11. – № 23. – С. 11091. ""

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Представленная статья на тему «Двухступенчатая семантическая кластеризация эмбедингов как альтернатива LDA для инфометрического анализа отраслевых новостей» соответствует тематике журнала «Программные системы и вычислительные методы» и посвящена актуальному вопросу разработке метода тематического моделирования, лишённого ограничений классической LDA и обеспечивающего более высокое качество тематического разбиения текстов. В работе авторами в качестве основных улучшений рассматриваются учёт семантической близости терминов посредством внедрения предобученных эмбедингов слов, повышение интерпретируемости результатов за счёт увеличения когерентности тем, обеспечение стабильности модели на коротких текстах за счёт сглаживания разреженности.

В статье представлен достаточно широкий анализ литературных российских и зарубежных источников по теме исследования. Список литературы включает двадцать источников, на все источники в тексте даны ссылки.

В качестве новизны исследования авторы указывают концептуальную новизну метода, который состоит в отказе от стохастического порождения слов классической LDA и переходе к трактовке тем, как плотностных конгломератов в непрерывном семантическом пространстве, что позволяет устранить ключевые ограничения «мешка слов», связанные с потерей контекста, зависимостью от заранее фиксированного ККК и деградацией на коротких текстах.

Авторами проведен сравнительный анализ качества кластеризации, результаты представлены в таблице.

Стиль и язык изложения материала является научным, материал изложен логично. Статья по объему соответствует рекомендуемому объему от 12 000 знаков. Статья достаточно структурирована – в наличии введение, заключение, внутреннее членение основной части (методология исследования, результаты, дискуссия).

Согласно авторам, полученные результаты позволяют рассматривать описанную двухступенчатую схему как перспективную альтернативу классическому вероятностному моделированию тем в задачах анализа коротких отраслевых новостей. Прежде всего заметим, что рост когерентности тем на 0,15 UMass-пунктов при одновременном снижении перплексии противоречит традиционному наблюдению о неконгруэнтности этих метрик и свидетельствует о том, что геометрическое сглаживание на уровне лемм устраняет часть стохастического шума, к которому чувствительна LDA.

В работе предложена и экспериментально обоснована геометрическая парадигма тематического моделирования, опирающаяся на предварительную косинусную агрегацию предобученных эмбедингов лексических единиц с последующим формированием документ-тематических профилей в пониженной размерности. С практической стороны ценно, что вся процедура сохранила вычислительную лёгкость. Агломеративная кластеризация лемм выполняется за секунды, тогда как полное

вариационное обучение ЕТМ для такого корпуса потребовало бы десятки эпох на GPU. Низкая ресурсоёмкость делает метод пригодным для онлайн-аналитики.

Статья «Двухступенчатая семантическая кластеризация эмбедингов как альтернатива LDA для инфометрического анализа отраслевых новостей» может быть рекомендована к публикации в журнале «Программные системы и вычислительные методы».

Программные системы и вычислительные методы

Правильная ссылка на статью:

Федулов А.А. Проектирование архитектуры протокола клиент-серверного взаимодействия web-приложений на основе websocket // Программные системы и вычислительные методы. 2025. № 3. DOI: 10.7256/2454-0714.2025.3.75392 EDN: HGIBMU URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=75392

Проектирование архитектуры протокола клиент-серверного взаимодействия web-приложений на основе websocket

Федулов Алексей Алексеевич

ORCID: 0009-0003-8082-4316

аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Национальный исследовательский университет «МЭИ»; Национальный исследовательский университет "МЭИ"

111250, Россия, г. Москва, р-н Лефортово, ул. Красноказарменная, д. 14 стр. 1

✉ afed2000@yandex.ru



[Статья из рубрики "Сетевые протоколы"](#)

DOI:

10.7256/2454-0714.2025.3.75392

EDN:

HGIBMU

Дата направления статьи в редакцию:

30-07-2025

Дата публикации:

06-08-2025

Аннотация: Предметом исследования является проектирование архитектуры протокола клиент-серверного взаимодействия web-приложений на основе технологии WebSocket. Объектом исследования выступают механизмы двустороннего обмена данными в реальном времени и существующие решения на базе HTTP/HTTPS, SSE, SignalR, gRPC-Web, Socket.IO и WS. Автор подробно рассматривает такие аспекты темы, как формализация и унификация структуры логических каналов, маршрутизация сообщений, контроль активности соединений и автоматическое восстановление сессий. Особое внимание уделяется анализу преимуществ и ограничений каждого подхода с целью выработки требований к новой архитектуре протокола. В рамках работы выполнен

сравнительный анализ существующих библиотек и технологий, что позволило выявить ключевые параметры для эффективной, масштабируемой и отказоустойчивой реализации двустороннего взаимодействия. В качестве метода проектирования использован шаблон MVCS (Модель–Представление–Контроллер–Сервис), дополненный модульной организацией библиотеки SingleSocket и аналитическим сравнением существующих технологических решений в области клиент–серверного взаимодействия. Основными выводами проведенного исследования являются разработка и реализация архитектуры протокола, обеспечивающей сбалансированный и технически обоснованный подход к двустороннему обмену данными в режиме реального времени. Особым вкладом автора в исследование темы является формализация декларативной структуры каналов с привязкой к контроллерам, внедрение конфигурируемого механизма контроля активности соединений на сервере с автоматическим завершением неактивных сессий и встроенная логика восстановления соединения на клиенте. Новизна исследования заключается в применении архитектурной модели MVCS для повышения структурированности, использовании универсального JSON-формата с маршрутизацией по каналам и модульной реализации компонентов для повторного использования и упрощенной интеграции. Предложенная архитектура служит прочной основой для создания масштабируемых, надежных и гибких современных информационных систем.

Ключевые слова:

проектирование архитектуры протокола, технология WebSocket, двусторонняя коммуникация, реальное время, маршрутизация сетевых сообщений, управление активностью соединений, механизмы восстановления сессий, MVCS-архитектура, клиент-серверное взаимодействие, модульная архитектура

Введение

Современные web-приложения требуют обеспечения эффективного обмена данными в режиме реального времени для поддержания высокой интерактивности и быстрого отклика пользовательского интерфейса. Традиционные протоколы взаимодействия на основе HTTP, несмотря на широкое распространение, обладают ограничениями, связанными с высокой задержкой и невозможностью полноценной двусторонней коммуникации. В этой связи протокол WebSocket, обеспечивающий установление постоянного двунаправленного канала связи между клиентом и сервером, становится все более востребованным решением [\[1, с. 134\]](#). В исследовании, проведенном Murley и соавторами в 2021 году, был выполнен масштабный анализ более 71000 WebSocket-соединений, в ходе которого было обнаружено использование протокола WebSocket на 55805 веб-сайтах, что составляет 6,3% от общего числа проанализированных ресурсов. Это представляет собой значительный рост по сравнению с исследованием 2018 года, в котором доля сайтов с использованием WebSocket составляла лишь 1,6–2,5%. Полученные данные подтверждают устойчивую тенденцию к увеличению распространённости WebSocket как базовой технологии для двунаправленного обмена данными в реальном времени [\[2, с. 1195\]](#).

Целью настоящего исследования является разработка архитектуры протокола клиент-серверного взаимодействия на основе технологии WebSocket, ориентированной на применение данного протокола в web-приложениях не только в рамках задач обмена сообщениями, но и в более широком спектре прикладных сценариев. Кроме того,

исследование направлено на формализацию и стандартизацию подходов к проектированию приложений и их архитектур с учётом специфики WebSocket, поскольку в настоящее время отсутствуют чётко определённые методологические рекомендации по разработке подобных систем. Научная новизна работы заключается в комплексном подходе к проектированию архитектуры, включающем многослойную структуру обработки сообщений, эффективные механизмы управления сессиями и устойчивые методы обработки ошибок, что в совокупности обеспечивает высокую производительность и надёжность системы. Практическая значимость исследования состоит в возможности применения предложенной архитектуры для разработки современных web-приложений с требованиями к реальному времени, а также в перспективе интеграции с существующими стандартами и протоколами для повышения совместимости и безопасности.

Анализ существующих решений

Разработка эффективного протокола клиент-серверного взаимодействия в web-приложениях требует глубокого анализа существующих решений. В данном разделе рассмотрены наиболее распространённые технологии: HTTP/HTTPS, WebSocket, Server-Sent Events (SSE), SignalR, gRPC-Web и Socket.IO.

Протоколы HTTP и его защищённая версия HTTPS являются основой классического клиент-серверного взаимодействия. Они построены на парадигме запрос-ответ, где клиент инициирует запрос, а сервер возвращает ответ. Преимуществами являются широкая поддержка браузерами и инструментами, простота реализации и надёжность. Однако основным недостатком является отсутствие постоянного соединения и невозможность сервера инициировать обмен данными без предварительного запроса клиента [\[3, с. 2-4\]](#).

WebSocket – это протокол, позволяющий установить постоянное двустороннее соединение между клиентом и сервером по единому TCP-соединению. После начального рукопожатия по HTTP происходит переключение на WebSocket, что обеспечивает низкую задержку, экономию ресурсов на повторных соединениях и поддержку обмена данными в реальном времени [\[4, с. 41\]](#). WebSocket требует более сложной реализации и обработки состояния соединения, но в современных условиях это оправдано преимуществами производительности и гибкости.

SSE – это технология одностороннего соединения от сервера к клиенту на основе HTTP. SSE обеспечивает стабильную и надёжную доставку событий клиенту в режиме реального времени. Она поддерживается большинством современных браузеров и использует простой текстовый формат данных. Однако SSE не поддерживает двустороннюю связь: клиент может лишь инициировать HTTP-запросы, а сервер — только отправлять события. Также протокол работает исключительно по HTTP, без поддержки бинарных данных и ограниченной поддержки масштабируемости через прокси и балансировщики [\[5, с. 7-8\]](#).

SignalR – библиотека от Microsoft, предоставляющая абстракцию над различными технологиями связи: WebSocket, SSE и Long Polling. Она автоматически выбирает оптимальный способ коммуникации между клиентом и сервером, обеспечивая поддержку в режиме реального времени [\[1, с. 130-131\]](#). SignalR удобно использовать в .NET-приложениях, поскольку она глубоко интегрирована в ASP.NET Core. Среди недостатков – зависимость от экосистемы Microsoft и возможные избыточные накладные расходы при использовании в лёгких или высоконагруженных системах, где необходим полный контроль над соединениями и форматами сообщений.

gRPC-Web – это адаптация протокола gRPC (построенного на HTTP/2 и Protocol Buffers) для использования в браузере. Он поддерживает асинхронные вызовы и бинарный формат передачи данных, обеспечивая высокую производительность и строгое определение интерфейсов. Однако в браузерной среде gRPC-Web ограничен – отсутствует полноценная поддержка двустороннего соединения, как в оригинальном gRPC, и требуется наличие gRPC-прокси [\[6, с. 572\]](#). gRPC-Web подходит для корпоративных приложений и микросервисных архитектур, но менее удобен для обмена данными в реальном времени, по сравнению с WebSocket.

Socket.IO – это библиотека, которая строится на WebSocket и добавляет дополнительные функции: автоматическое переключение на другие виды соединений, обнаружение потери связи, подключения с разными именами и комнаты. Socket.IO популярен в экосистеме Node.js и используется во множестве приложений с обменом данными в реальном времени [\[7, с. 82; 8, с. 12\]](#). Основные преимущества – простота интеграции, высокая гибкость, кроссплатформенность. Недостатки – относительно высокая сложность внутренней архитектуры, отсутствие стандартизации (не является чистым WebSocket-протоколом), зависимость от конкретной библиотеки на клиенте и сервере.

Анализ показывает, что WebSocket представляет собой оптимальную технологическую основу для проектирования протоколов двустороннего взаимодействия в web-приложениях с высокими требованиями к производительности и интерактивности. По сравнению с альтернативами, WebSocket обеспечивает прямой и стандартизированный доступ к низкоуровневой двусторонней передаче данных, позволяя разработчику реализовать собственную логику обмена без ограничения архитектурой сторонних библиотек.

Требования к архитектуре протокола

Проектирование нового протокола клиент-серверного взаимодействия – важный этап в развитии технологий веб-коммуникаций, направленный на создание эффективного механизма постоянного соединения, способного обеспечивать двусторонний обмен данными в режиме реального времени. Однако широкое распространение подобных решений сдерживается отсутствием универсального стандарта прикладного уровня для форматирования и логики обмена сообщениями, а также необходимостью значительной ручной доработки при их внедрении.

В процессе разработки нового протокола необходимо предусмотреть создание специализированных библиотек как для клиентской части, так и для серверной, что обеспечит удобство интеграции, унификацию интерфейсов и гибкость использования в различных веб-приложениях. Особое внимание следует уделить формализации и стандартизации протокола, что позволит не только обеспечить корректность и предсказуемость взаимодействия, но и создать основу для развития экосистемы приложений, использующих данный протокол. Стандартизация является критическим фактором для обеспечения совместимости, расширяемости и долгосрочной поддержки решений, основанных на новой архитектуре.

Архитектурный дизайн протокола охватывает широкий спектр вопросов, связанных не только с техническими аспектами передачи и обработки данных, но и с методологическими проблемами проектирования и разработки клиентских и серверных приложений. В частности, разработка должна учитывать требования к управлению сессиями, обработке ошибок, масштабируемости, безопасности и отказоустойчивости, что предполагает комплексный подход и полное взаимодействие между компонентами

системы. В совокупности это позволяет создать инновационную и эффективную архитектуру, способную удовлетворить растущие требования современных web-приложений и заложить фундамент для дальнейших исследований и практических внедрений.

Предлагаемая архитектура протокола

Предлагаемая архитектура протокола клиент-серверного взаимодействия представляет собой оригинальный подход к организации обмена сообщениями в web-приложениях с использованием технологии WebSocket. Основу архитектуры составляет разработанная библиотека SingleSocket, реализующая модульный, конфигурируемый протокол взаимодействия с поддержкой событийно-ориентированной модели, гибкой маршрутизацией сообщений и встроенными механизмами контроля соединения.

Модульность обеспечивается в первую очередь благодаря чёткой архитектурной сегрегации на клиентскую и серверную части, которые функционируют автономно, обеспечивая независимость в развитии, настройке и внедрении. Такое структурное разделение способствует упрощению интеграционных процессов, облегчает тестирование отдельных компонентов и повышает масштабируемость системы в целом. Помимо этого, непосредственно внутри вышеупомянутых частей библиотеки реализована композиция независимых функциональных модулей, включающих механизмы гибкой маршрутизации сообщений, контроля состояния соединения, ведения логов, а также кеширование. Каждый модуль выполняет строго ограниченную задачу, что не только повышает степень гибкости и возможности повторного использования компонентов, но и облегчает сопровождение и развитие протокола без риска нарушения целостности всей системы.

Интеграция серверной части библиотеки в приложение осуществляется путем инициализации экземпляра сервера, реализованного непосредственно в библиотеке SingleSocket, с заданной конфигурацией. В конфигурации задаётся набор логических каналов, которые будут использоваться в общении клиента и сервера, время периодической проверки состояния всех активных клиентов, необходимость логирования событий соединения. Каждый из них ассоциируется с определённым обработчиком сообщений – контроллером, который будет задаваться в самом приложении. Эти контроллеры отвечают за обработку входящих данных, обеспечивая их маршрутизацию и корректную реакцию сервера на события. Такое разделение каналов позволяет чётко разграничивать области ответственности и упрощает расширение функциональности сервера путём добавления новых каналов с собственными контроллерами. При этом архитектура серверного приложения должна строиться в соответствии с шаблоном проектирования MVCS (Модель-Представление-Контроллер-Сервис), где контроллеры выступают посредниками при обработке сообщений, сервисы реализуют основную прикладную логику, модели предоставляют доступ к данным, а представления выступают каналом передачи данных [\[9, с. 5-7\]](#). Такой комплексный подход к использованию библиотеки обеспечивает структурированность, масштабируемость и удобство сопровождения серверной части приложения.

Со стороны клиента взаимодействие с библиотекой организуется путем инициализации экземпляра клиента, также реализованного непосредственно в библиотеке SingleSocket с заданной конфигурацией. В конфигурации задаётся набор логических каналов, которые будут использоваться в общении клиента и сервера. Клиентские сообщения формируются в унифицированном формате JSON, включающем обязательные поля, такие как идентификатор логического канала и полезная нагрузка. Такой формат

обеспечивает прозрачную и эффективную маршрутизацию сообщений по соответствующим каналам, а также поддерживает необходимые механизмы контроля доступа.

Механизм контроля соединений реализован в виде периодической проверки состояния всех активных клиентов. Каждые n секунд каждому клиенту отправляется ping, и при отсутствии ответа соединение принудительно закрывается. Этот механизм позволяет предотвратить утечки ресурсов, вызванные обрывами соединения или потерей активности на стороне клиента. Кроме того, клиентская часть протокола содержит встроенную логику контроля соединения: при обнаружении разрыва или отсутствия подтверждения активности производится автоматическая попытка повторного подключения. Это обеспечивает устойчивость к нестабильным сетевым условиям и повышает надёжность функционирования системы. На рисунке 1 представлена схема архитектуры приложения, использующего библиотеку для реализации клиент-серверного взаимодействия.

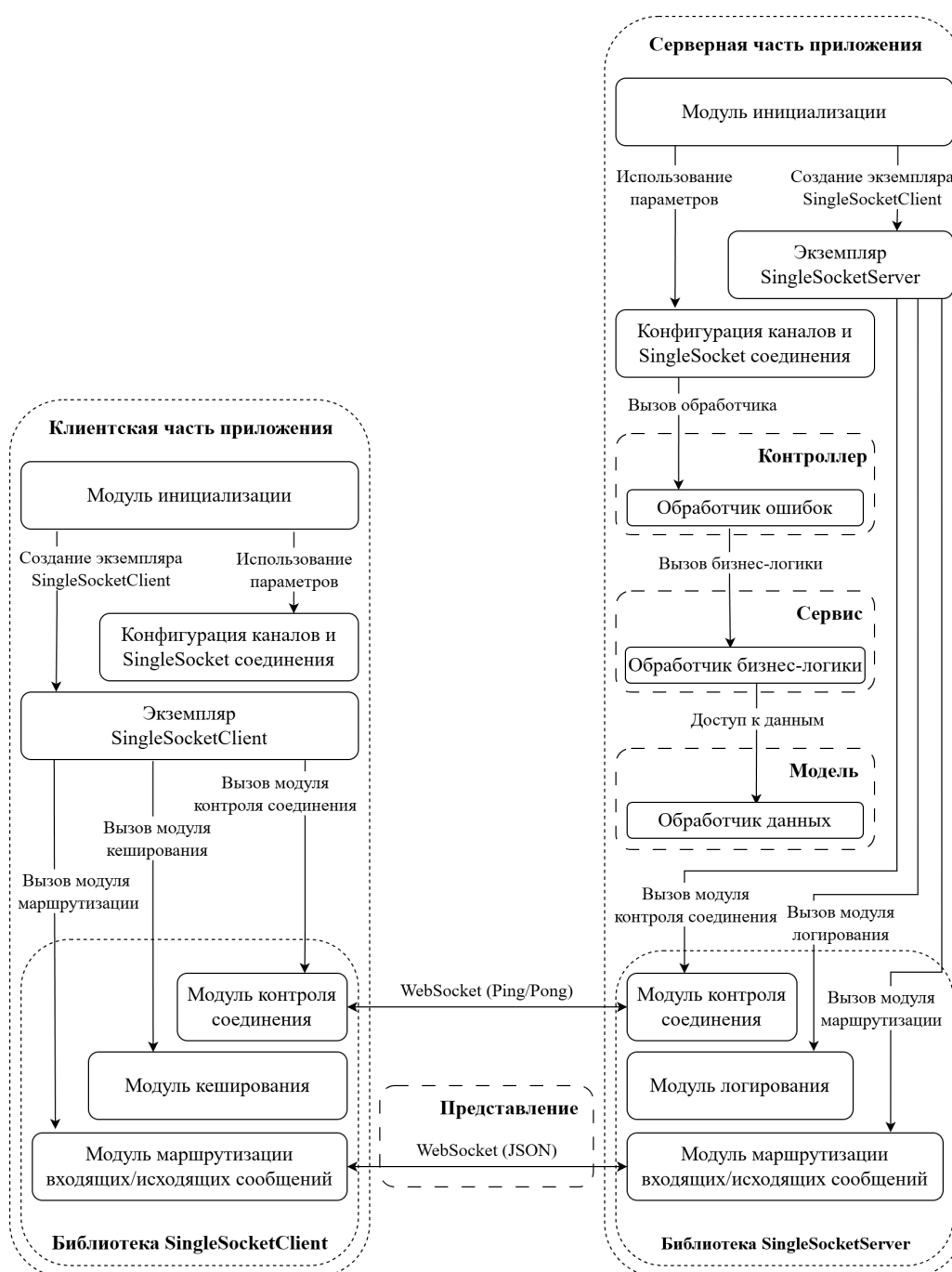


Рисунок 1 – схема архитектуры библиотеки и приложения, реализующих клиент-серверное взаимодействие.

Научная новизна предложенной архитектуры заключается в следующем:

1. формализация и унификация конфигурации протокола обмена в виде декларативной структуры каналов с привязкой к контроллерам;
- 2 . конфигурируемый и технически реализованный механизм контроля активности соединений на стороне сервера с автоматическим завершением неактивных сессий;
3. встроенная логика восстановления соединения на стороне клиента;
- 4 . применение архитектурной модели MVCS, повышающей структурированность и масштабируемость серверной логики;
5. использование универсального формата JSON с маршрутизацией по каналам;
- 6 . модульная реализация компонентов, обеспечивающая повторное использование и простоту интеграции в прикладные проекты.

Таким образом, предложенный протокол на базе библиотеки WebSocket представляет собой масштабируемую, отказоустойчивую и расширяемую платформу для построения web-приложений с поддержкой высокопроизводительного обмена данными в режиме реального времени. Разработанный подход ориентирован на практическое внедрение в информационные системы, которые хотят использовать протоколы нового поколения взаимодействия в системах реального времени, обеспечивая улучшенную производительность, минимизацию задержек и гибкость в адаптации к динамичным требованиям современных бизнес-процессов. Это делает его идеальным решением для организаций, стремящихся оптимизировать свои IT-архитектуры и интегрировать инновационные технологии для более эффективного взаимодействия с пользователями и внешними системами.

Сравнительный анализ

Сравнение разработанной архитектуры протокола с существующими решениями, такими как библиотеки Socket.IO и WS, позволяет выделить ключевые достоинства и слабые стороны каждого подхода. Это дает возможность объективно оценить предложенное в данной работе решение.

Библиотека Socket.IO является решением высокого уровня, надстроенным над WebSocket. Она использует событийно-ориентированную модель и предоставляет широкий набор дополнительных механизмов: автоматическое восстановление соединений, альтернативные каналы связи на случай недоступности WebSocket, возможность разделения клиентов по комнатам и поддержку кластерных решений [\[7, с. 82; 8, с. 12\]](#). Эти возможности значительно упрощают разработку, особенно в приложениях с высокой интерактивностью. Однако избыточный уровень абстракции приводит к дополнительным накладным расходам и потенциальному увеличению задержек передачи сообщений, что может негативно сказаться на производительности.

WS – это малозатратная по ресурсам библиотека, реализующая базовые функции работы с WebSocket-соединением. Она ориентирована на прямую работу с протоколом, что обеспечивает высокую скорость и предсказуемость. В то же время отсутствие встроенных инструментов (для управления сессиями, обработки ошибок, повторного подключения и

пр.) требует значительных усилий со стороны разработчика и увеличивает риск ошибок при реализации логики приложения.

Предлагаемый протокол стремится к балансу между этими крайностями. Он предоставляет встроенные средства управления сессиями, маршрутизации сообщений, восстановления соединений и обработки ошибок, оставаясь при этом лёгким по архитектуре. Это обеспечивает высокую производительность, надёжность и удобство внедрения, минимизируя зависимость от внешней инфраструктуры и избегая излишней сложности реализации. В таблице 1 приведена сравнительная характеристика решений, использующих WebSocket.

Таблица 1 – сравнительные характеристики решений на основе WebSocket

Критерий	WebSocket	Socket.IO	Предлагаемый протокол
Тип связи	Двунаправленная	Двунаправленная	Двунаправленная
Постоянное соединение	Да	Да	Да
Мультиплексирование	Есть	Есть	Есть
Восстановление соединения	Нет	Автоматическое	Автоматическое
Управление сессиями	Не предусмотрено	Встроено	Встроено
Обработка ошибок	Базовая	Расширенная	Расширенная
Совместимость с другими протоколами	Высокая	Ограниченная	Высокая
Накладные расходы	Низкие	Повышенные	Оптимизированные
Гибкость настройки	Высокая	Ограничена	Высокая
Зависимость от инфраструктуры	Минимальная	Значительная	Средняя

Несмотря на преимущества, разработанная архитектура имеет ряд ограничений, которые необходимо учитывать при её использовании:

1 . Ограниченная совместимость с устаревшими браузерами и прокси-серверами. Некоторые корпоративные сети могут блокировать WebSocket-трафик или не поддерживать постоянные соединения, что затрудняет использование протокола в изолированных средах [\[10, с. 176\]](#). Это связано с тем, что предлагаемый протокол – относительно новый и использует современные принципы связи, которые ещё не везде получили широкую поддержку.

2 . Зависимость от структуры MVCS. Архитектура сервера требует строго соблюдения разделения на контроллеры, сервисы и модели. Это облегчает работу с кодом, но может ограничивать гибкость в проектах с нестандартными архитектурными решениями. Однако стоит учитывать, что нестандартные архитектуры по своей природе предполагают нестандартные инструменты, поэтому подобная зависимость от структурной модели вполне обоснована и ожидаема.

3 . Увеличение объема служебной логики на клиенте. Несмотря на автоматическое восстановление соединений и маршрутизацию, клиентская часть становится значительно

более сложной по сравнению с традиционными REST-приложениями, что может потребовать дополнительных усилий по отладке. Однако подобная нагрузка на клиентскую сторону является общей чертой всех протоколов, использующих WebSocket.

4. Риски при масштабировании соединений. При большом числе одновременно подключённых клиентов могут возникнуть проблемы с эффективной реализацией контроля соединений и мониторинга активности. Такие нагрузки характерны для всех современных решений, работающих в режиме постоянной связи. В предлагаемом протоколе уже предусмотрены базовые механизмы для работы с большим числом клиентов, но при дальнейшем масштабировании может потребоваться дополнительная настройка.

Таким образом, предлагаемая архитектура представляет собой компромисс между лёгкостью низкоуровневых решений и удобством сложных библиотек. Она обеспечивает высокий уровень надёжности и расширяемости при умеренных требованиях к ресурсам, однако требует осознанного подхода к проектированию и внедрению, особенно при построении масштабируемых распределённых систем. Своевременное выявление и устранение ограничений позволит расширить область применения протокола и повысить его универсальность.

Заключение

В ходе проведённого исследования рассмотрены современные подходы к организации клиент-серверного взаимодействия в web-приложениях, выявлены их преимущества и ограничения, а также обоснована необходимость разработки нового протокола, способного обеспечить постоянное двунаправленное соединение с высокой производительностью и масштабируемостью. Предложенная архитектура протокола сочетает в себе лучшие черты существующих решений, что позволяет создавать надёжные и отказоустойчивые системы.

Основные результаты работы заключаются в разработке концепции комплексной архитектуры, включающей клиентскую и серверную библиотеки, обеспечивающих обмен данными в режиме реального времени. Предложенное решение ориентировано на современные требования web-приложений и учитывает ограничения среды выполнения, что повышает его практическую значимость и перспективы внедрения.

Тем не менее, отдельные аспекты реализации подобного рода протоколов сопряжены с определёнными трудностями. Однако современный технологический прогресс и успешные примеры использования протоколов постоянного соединения в промышленных масштабах – например, в мессенджере Telegram.

В дальнейшем планируется реализация прототипа протокола, проведение интеграционных тестов и моделирование нагрузки для оценки производительности и устойчивости. Перспективным направлением развития является расширение функциональности, включая поддержку шифрования и качества обслуживания. Таким образом, разработка и внедрение данного протокола станет значительным шагом в эволюции клиент-серверного взаимодействия и откроет новые возможности для создания интерактивных и масштабируемых web-приложений.

Библиография

1. Sharma N., Agarwal R. HTTP, WebSocket, and SignalR: A Comparison of Real-Time Online Communication Protocols // Mining Intelligence and Knowledge Exploration: 9th International Conference, MIKE 2023, Proceedings. – Cham: Springer, 2023. – С. 128-135.

2. Murley P., Ma Z., Mason J., Bailey M., Kharraz A. Websocket adoption and the landscape of the real-time web // WWW '21: Proceedings of the Web Conference 2021. – New York: ACM, 2021. – С. 1192–1203.
3. Песошина Н.Т., Нуриев М.Г., Минязев Р.Ш. Разработка корпоративного веб-чата с использованием библиотеки SignalR // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 11. – С. 1-15.
4. Kaminski L., Kozlowski M., Sporysz D., Wolska K., Zaniewski P., Roszczyk R. Comparative Review of Selected Internet Communication Protocols // Foundations of Computing and Decision Sciences. – 2023. – № 48(1). – С. 39-56.
5. Morchid A., Et-taibi B., Oughannou Z., Alami R.E., Qjidaa H., Jamil M.O., Boufounas E., Riduan M. Abid IoT-enabled smart agriculture for improving water management: A smart irrigation control using embedded systems and Server-Sent Events // Scientific African. – 2025. – № 27. – С. 1-17.
6. Price M.J. Apps and Services with .NET. – 2-е изд. – Birmingham: Packt Publishing, 2023. – 765 с.
7. Karam S.J., Abdulrahman B.F. Using Socket.io Approach for Many-to-Many Bi-Directional Video Conferencing // Al-Rafidain Journal of Computer Sciences and Mathematics. – 2021. – № 16(1). – С. 81-86.
8. Алпатов А.Н., Юров И.И. Алгоритм и программная реализация совместного редактирования графических схем в режиме реального времени с использованием библиотеки Socket.IO // Программные системы и вычислительные методы. 2024. № 1. С. 10-19.
9. Лясковский В.Л., Федулов А.А. Анализ применимости и потенциальной полезности использования шаблона проектирования модель-представление-контроллер-сервис при разработке автоматизированных систем сбора и обработки цифровых отчётных документов для промышленных предприятий // ИТ-Стандарт. – 2024. – № 2(39). – С. 4-13.
10. Василевский С.М., Шедльбауэр А.А., Морозов Д.А. Веб-приложения реального времени // Сборник материалов VII-й Всероссийской научно-практической конференции. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2023. – С. 174-178.

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Представленная статья на тему «Проектирование архитектуры протокола клиент-серверного взаимодействия web-приложений на основе websocket» соответствует тематике журнала «Программные системы и вычислительные методы» и посвящена вопросу разработки архитектуры протокола клиент-серверного взаимодействия на основе технологии WebSocket, ориентированной на применение данного протокола в web-приложениях не только в рамках задач обмена сообщениями, но и в более широком спектре прикладных сценариев. Авторское исследование направлено на формализацию и стандартизацию подходов к проектированию приложений и их архитектур с учётом специфики WebSocket, поскольку в настоящее время отсутствуют чётко определённые методологические рекомендации по разработке подобных систем.

Авторами также сформулирована научная новизна работы, которая заключается в комплексном подходе к проектированию архитектуры, включающем многослойную структуру обработки сообщений, эффективные механизмы управления сессиями и устойчивые методы обработки ошибок, что в совокупности обеспечивает высокую

производительность и надежность системы.

Практическая значимость исследования четко сформулирована и заключается в возможности применения предложенной архитектуры для разработки современных web-приложений с требованиями к реальному времени, а также в перспективе интеграции с существующими стандартами и протоколами для повышения совместимости и безопасности.

В статье представлен анализ литературных российских и зарубежных источников по теме исследования. Список литературы включает десять источников, на все источники в тексте даны ссылки.

Авторами проведен анализ существующих решений для разработки эффективного протокола клиент-серверного взаимодействия в web-приложениях. В работе рассмотрены наиболее распространённые технологии: HTTP/HTTPS, WebSocket, Server-Sent Events (SSE), SignalR, gRPC-Web и Socket.IO.

Авторами проведен сравнительный анализ характеристик решений на основе WebSocket, результаты представлены в таблице.

Стиль и язык изложения материала является научным, материал изложен логично. Статья по объему соответствует рекомендуемому объему от 12 000 знаков. Статья достаточно структурирована – в наличии введение, заключение, внутреннее членение основной части (Анализ существующих решений, Требования к архитектуре протокола, Предлагаемая архитектура протокола, Сравнительный анализ).

В заключении авторы излагают, что предложенный ими протокол на базе библиотеки WebSocket представляет собой масштабируемую, отказоустойчивую и расширяемую платформу для построения web-приложений с поддержкой высокопроизводительного обмена данными в режиме реального времени. Разработанный подход ориентирован на практическое внедрение в информационные системы, которые хотят использовать протоколы нового поколения взаимодействия в системах реального времени, обеспечивая улучшенную производительность, минимизацию задержек и гибкость в адаптации к динамичным требованиям современных бизнес-процессов.

Статья «Проектирование архитектуры протокола клиент-серверного взаимодействия web-приложений на основе websocket» может быть рекомендована к публикации в журнале «Программные системы и вычислительные методы».

Программные системы и вычислительные методы

Правильная ссылка на статью:

Конников Е.А., Поляков П.А., Родионов Д.Г. Спецификация регрессионного анализа воздействия информационной среды на финансовые показатели компании // Программные системы и вычислительные методы. 2025. № 3. DOI: 10.7256/2454-0714.2025.3.75398 EDN: LOVLAL URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=75398

Спецификация регрессионного анализа воздействия информационной среды на финансовые показатели компании

Конников Евгений Александрович

ORCID: 0000-0002-4685-8569

кандидат экономических наук

доцент, Высшая инженерно-экономическая школа; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Калининский р-н, ул. Политехническая, д. 29

✉ konnikov_ea@spbstu.ru



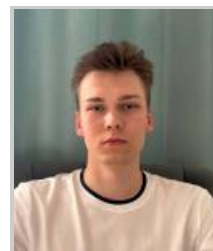
Поляков Прохор Александрович

ORCID: 0000-0003-1362-6283

Научный сотрудник; Научно-исследовательская лаборатория "Политех-Инвест"

194295, Россия, г. Санкт-Петербург, Выборгский р-н, ул. Ивана Фомина, д. 14 к. 2 литера А

✉ prohor@polyakov-box.ru



Родионов Дмитрий Григорьевич

ORCID: 0000-0002-1254-0464

доктор экономических наук

профессор; институт промышленного менеджмента, экономики и торговли; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Директор Высшей инженерно-экономической школы; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

194021, Россия, г. Санкт-Петербург, Выборгский р-н, ул. Новороссийская, д. 50

✉ drodionov@spbstu.ru



[Статья из рубрики "Системный анализ, поиск, анализ и фильтрация информации"](#)

DOI:

10.7256/2454-0714.2025.3.75398

EDN:

LOVLAL

Дата направления статьи в редакцию:

04-08-2025

Дата публикации:

13-08-2025

Аннотация: Предметом исследования является разработка и экспериментальная валидация сквозной регрессионной спецификации, предназначенной для количественной оценки эластичности рыночной стоимости акций к тематическим информационным потокам. Объектом исследования выступают суточные ряды интенсивностей тематик, выделенные алгоритмом Latent Dirichlet Allocation из отраслевого новостного корпуса, и биржевой дифференциал «закрытие-открытие» акций ПАО «ГМК Норникель». Автор подробно рассматривает такие аспекты темы, как Corr- γ -split-нормализация, устраняющая двухмодальность распределений, ортогонализация «масштаб – асимметрия», снижающая мультиколлинеарность, Partial Least Squares-проекция для агрегирования признаков и регуляризованная Ridge-регрессия для устойчивого прогнозирования. Особое внимание уделяется тому, как сочетание этих этапов формирует статистически корректный и интерпретируемый мост между текстовыми сигналами и финансовыми метриками, обеспечивая практическую применимость модели к динамике высокочастотных информационных возмущений. Методологическую основу составили Corr- γ -split-нормализация, ортогонализация «Sum/Diff», Partial Least Squares-проекция и Ridge-регрессия с перекрёстной валидацией, объединённые в полнофакторный эксперимент из сорока пяти альтернативных спецификаций. Основными выводами проведённого исследования являются подтверждение того, что только комплексное объединение Corr- γ -split-нормализации, ортогонализации «Sum/Diff», PLS-проекции и Ridge-регрессии формирует статистически состоятельную и практически применимую модель влияния новостного фона на рыночную цену. Новизна работы заключается в введении метрически обоснованного порога T^* , устраняющего врождённую двухмодальность распределений LDA-интенсивностей, а также в развитии интерпретируемого разложения потоков на размер и асимметрию, что повышает объясняющую силу коэффициентов эластичности. Эмпирическая апробация на данных ПАО «ГМК Норникель» показала снижение RMSE на 13 %, рост CV- R^2 до 0,78 и увеличение сводного показателя качества на 0,32 по сравнению с базовой моделью. Полученные результаты доказывают, что предложенная спецификация масштабируема на различные корпоративные или отраслевые информационные потоки и может служить надёжным инструментом мониторинга и прогнозирования рыночных индикаторов в условиях высокочастотных информационных возмущений.

Ключевые слова:

Информационная среда, Регрессионный анализ, Эластичность, Финансовые показатели, Байесовские priors, Многокритериальная калибровка, Гетероскедастичность, Временные лаги, PLS-проекция, Ridge-регрессия

Введение

Эффективность современных организаций, все в большей степени определяется

качеством их информационного окружения. Потоки новостей, аналитических публикаций и пользовательских сообщений формируют динамичное поле внимания, которое способно усиливать или ослаблять попытки компании достигать стратегических целей [6, 7, 8, 9, 10]. Для количественного описания такого воздействия традиционно используют эконометрические модели, а центральным инструментом остаётся линейная регрессия [2, 3]. Она даёт воспроизводимые оценки эластичностей, допускает строгие статистические тесты и предоставляет интерпретируемые коэффициенты. Однако сам по себе факт наличия корреляции между информационными сигналами и операционными либо рыночными метриками ещё не гарантирует, что эти сигналы будут надёжно работать в прогнозе. Требуется формальная процедура, способная отделить случайный шум от устойчивых паттернов, выявить скрытые каналы влияния и одновременно учесть высокую взаимную корреляцию тематических потоков. Регрессионный анализ, дополненный методами снижения размерности и регуляризации, остаётся практически единственным подходом, позволяющим решать эти задачи в рамках единой статистической парадигмы. Тем не менее применение классической регрессии к текстовым данным накладывает строгие требования к распределению ошибок и структуре признаков, а нарушение этих требований ведёт к смещённым и неустойчивым оценкам [1, 4, 14].

Настоящая статья нацелена на преодоление описанных методических трудностей, формируя единую регрессионную рамку для анализа влияния информационной среды на результаты деятельности компании. В качестве источника экзогенных переменных мы сознательно выбираем латентное размещение Дирихле (Latent Dirichlet Allocation (LDA)). Данный алгоритм тематического моделирования остаётся де-факто стандартом благодаря прозрачной байесовской интерпретации, устойчивости при работе с крупными корпусами и возможности формировать непрерывные временные ряды интенсивностей тем без априорной разметки. При этом мы ограничиваемся статической LDA-моделью, фиксируем число тем и используем агрегированные дневные значения интенсивностей. Такой выбор упрощает валидацию, но одновременно усиливает проблему двухмодальности и межтематической корреляции сигналов.

Методология

Регрессионная спецификация требует удовлетворения предпосылок теоремы Гаусса–Маркова, среди которых центральное место занимает нормальность и гомоскедастичность ошибок. Критическим источником отклонения от данных предпосылок выступают экзогенные переменные — временные ряды интенсивностей тематических потоков, генерируемые моделью LDA. Апостериорное распределение каждой интенсивности X обладает выраженной двухпиковой U-формой. Для устранения данной фундаментальной несостоятельности предложена параметризованная функция распределения интенсивности тематического потока (РИТП). Данное распределение, в отличие от классических одномодальных семейств, аналитически воспроизводит U-структуру при минимуме параметров и тем самым сводит задачу приведения X к нормальному виду к задаче поиска единственного оптимального порога разделения T^* . Процедура идентификации T^* формализована следующими шагами:

1. Оценка параметров $\hat{\theta}$ и $\hat{\gamma}$. Минимизируется сводная мера различия эмпирической выборки $\{x_i\}_{i=1}^n$ и синтетически сгенерированного распределения:

$$L(c, g) = 0.7 W(\hat{F}, F_{c,g}) + 0.3 D_{KL}(\hat{F} \| F_{c,g})$$

где W — расстояние Васерштейна, D_{KL} — дивергенция Кульбака–Лейблера.

2. Автоматическое выделение порога T^* . На гистограмме эмпирических значений вычисляется серия локальных пиков $\{p_j\}$. Алгоритм выбирает два наиболее выраженных и определяет T^* в точке минимальной плотности между ними, адаптируя порог к значению \widehat{Corr} (ширина корреляционного «плато») и \hat{Y} (масса правой моды).

3. Квазипараметрическое нормирование. Каждый наблюдаемый вектор v разделяется на «левую» и «правую» подпопуляции $v_L = \{x: x \leq T^*\}$, $v_R = \{x: x > T^*\}$. Далее применяется ранговое преобразование $z = \Phi^{-1}\left(\frac{rank(x)-0.5}{n}\right)$, $x \in v_L \cup v_R$, приводящее обе части к стандартной $N(\mu, \sigma^2)$.

Таким образом, предложенный алгоритм обеспечивает:

- Метрически обоснованное разделение потока, минимизирующее расстояние Васерштейна;
- Автоматическую адаптацию к форме распределения без экспертной калибровки;
- Соблюдение предпосылок Гаусса–Маркова за счёт приведения каждой подсекции к нормальному виду, что, в свою очередь, гарантирует несмещённость, состоятельность и эффективность оценок $\hat{\beta}$ линейной регрессии.

Данная процедура образует концептуальный мост между вероятностным описанием тематических потоков и построением регрессионной спецификации, закладывая статистически корректный фундамент для последующих моделей. После выполнения процедуры Corr-γ-split-norm каждая исходная интенсивность тематики X представлена парой нормально распределённых величин:

$$X_L = \Phi^{-1}(F_L(x)), \quad X_R = \Phi^{-1}(F_R(x))$$

Где F_L, F_R — эмпирические квантильные функции для наблюдений по обе стороны порога T^* . На данном этапе информация об исходном потоке распределена избыточно, так как обе переменные совместно кодируют общий масштаб проявления темы и долю масс-переноса в правый хвост. Для интерпретируемого включения данных сведений в регрессионную спецификацию вводится линейное преобразование:

$$X_{sum} = X_L + X_R, \quad X_{diff} = X_R - X_L$$

Данное преобразование для всего множества тематик формирует на каждую базовую тематику b две ортогональные компоненты b_{sum} и b_{diff} . Статистические преимущества такой репараметризации обосновываются следующим:

1. Устранение скрытой мультиколлинеарности. Поскольку X_L и X_R порождены одним и тем же базовым потоком, они по определению сильно коррелированы. Переход к $\{X_{sum}, X_{diff}\}$ эквивалентен вращению в двумерном подпространстве $span\{X_L, X_R\}$ на $\pi/4$, приводя ковариационную матрицу к диагональной форме:

$$Cov(X_{sum}, X_{diff}) = 0$$

если $Var(X_L) = Var(X_R)$. Практически это снижает условное число матрицы регрессоров и тем самым уменьшает чувствительность оценок к регуляризационному параметру λ в Ridge/Lasso-процедурах.

2. Компонента sum:

$$X_{sum} = X_L + X_R \sim \underbrace{\text{общее ожидание интенсивности темы}}_{\text{«масштаб присутствия»}}$$

По сути, X_{sum} служит аппроксимацией первого момента базового потока, сохраняя информацию об интегральной «массе» тематического сигнала без учёта его асимметрии. В рамках инвестиционной трактовки данная величина отвечает за совокупную видимость темы в информационном пространстве, что отражает базовый уровень внимания субъектов к данной тематике.

3. Компонента diff:

$$X_{diff} = X_R - X_L \sim \underbrace{\text{баланс правого хвоста}}_{\text{«тематическая асимметрия»}}$$

Разность количественно описывает смещение массы в область высоких интенсивностей и тем самым выступает прокси-показателем острых тематических всплесков. Чем больше X_{diff} , тем значимее доля «пиковых» сообщений, указывающих на повышенную концентрацию обсуждений, часто сопряжённую с рыночными реакциями высокой волатильности.

Таким образом, пара $\{X_{sum}, X_{diff}\}$ ортогонально декомпозирует поток на размер и напряжённость информационного поля, что содействует интерпретируемости коэффициентов эластичности – β_{sum} характеризует «фундаментальный» (фоновой) вклад темы, а β_{diff} – маржинальный эффект информационных всплесков.

В совокупности указанное обоснование демонстрирует, что свод «Sum/Diff» является необходимым этапом после Corr-γ-split-norm. Он уменьшает мультиколлинеарность, предоставляет интерпретируемые показатели «масштаб-асимметрия» и сохраняет полную информацию о параметрах исходной смеси.

Имея для m базовых тематических потоков ортогонализированную пару признаков $X = [X_{sum}^{(1)} \dots X_{sum}^{(m)} X_{diff}^{(1)} \dots X_{diff}^{(m)}] \in R^{n \times 2m}$, мы сталкиваемся с двумя взаимосвязанными проблемами:

1. Высокая размерность. $2m$ легко превосходит доступное число наблюдений n , что ведёт к росту дисперсии оценок $\hat{\beta}$.

2. Остаточная межтематическая корреляция. Несмотря на ортогональность (sum, diff) внутри каждой темы, между разными темами сохраняются зависимости, вновь порождая мультиколлинеарность.

Для решения обеих задач целесообразно применить Partial Least Squares (PLS). В отличие от PCA, PLS оптимизирует $Cov(Xw, y)$. Поэтому латентные факторы автоматически концентрируют именно тот спектр тематических сигналов, который влияет на y [11, 16].

Весовой вектор w_j является линейной комбинацией (sum, diff)-признаков, и, следовательно, компоненту t_j можно трактовать как метатематику второго порядка – сочетание базовых тематик, где вклад каждой темы пропорционален её весу в w_j . Пусть t_1 получен с доминирующими весами по признакам $\{X_{\text{sum}}^{(\text{Технологии})}, X_{\text{diff}}^{(\text{Инновации})}\}$. Тогда t_1 интерпретируется как интегральный инновационно-технологический стимул, сочетающий общий масштаб дискурса о технологиях с интенсивностью всплесков инноваций. Коэффициент регрессии при t_1 покажет, насколько совокупное «техно-насыщение» информационного поля ценится наблюдаемыми инвесторами. Метатематики лучше отдельных (sum, diff)-рядов, поскольку:

- Учитывают синергетический эффект. Одновременный рост сразу нескольких смежных тематик оказывает более сильное влияние на среду, чем каждая в отдельности.
- Обеспечивают шумоподавление. Случайные колебания в отдельных тематиках усредняются.
- Позволяют ранжировать тематики по значимости в целевом объяснении, анализируя веса внутри w_j .

Результаты и дискуссия

Таким образом PLS-проекция превращает расширенную «Sum/Diff»-матрицу в компактный набор метатематик второго порядка, подчёркивающих кросстематические паттерны, релевантные выделенным ранее целевым переменным. Такая репараметризация сокращает размерность и устраняет мультиколлинеарность, повышает устойчивость оценок линейных коэффициентов и усиливает интерпретируемость результатов через взвешенные кластеры тематик. Хотя PLS трансформирует исходную матрицу X в ортогональный набор компонент $T=XW$, сама процедура не накладывает ограничений на величину регрессионных коэффициентов β в модели регрессии. При конечной выборке n и даже умеренном числе компонент k возникает риск вариационного раздувания оценок $\hat{\beta}$, особенно если некоторые t_j объясняют лишь малую долю дисперсии y . В такой ситуации требуется регуляризация [5, 12, 13].

Приведённые аргументы делают Ridge-регрессию статистически обоснованным завершающим звеном в процедуры $DA \xrightarrow{\text{Corr-y-split-norm}} \{X_{\text{sum}}, X_{\text{diff}}\} \xrightarrow{\text{PLS}} T \xrightarrow{\text{Ridge}} \hat{y}$ обеспечивая достаточную прогностическую достоверность при минимальном риске переобучения. Для целей оценки количественного приращения качества результатов регрессионного анализа за счет разработанной процедуры сформирована структура количественного эксперимента, описанная в таблице 1.

Расщепление по трём уровням позволяет статистически отследить, какая часть эффекта обусловлена изменением свойств изначального распределения, а какая — выбором подхода к моделированию или способом латентной агрегации. Возможность комбинировать компоненты демонстрирует, что преимущества предложенной процедуры не сводятся лишь к одной ключевой детали, а проявляются только в их совместной реализации. Каждый блок сравнений использует одни и те же целевые ряды и общую процедуру кросс-валидации. Таким образом различия атрибутируются именно факторам

структуры эксперимента, а не выборке или метрикам. Фактически это полный факторный эксперимент. Даже если не все 45 комбинаций показывают практическую значимость, присутствие слабых конфигураций служит базовой линией, от которой оценивается прирост качества.

Таблица № 1

Структура количественного эксперимента

Уровень	Варианты	Роль в эксперименте
Нормализация / Разделение	1 . Original (квантильная нормализация без порога). 2 . Gamma-split (ЕМ-смесь 2 γ -распределений). 3 . L/R (Corr- γ -split)	Проверяет, действительно ли аналитическая РИТП-нормализация и точный порог T^* улучшают входные данные по сравнению с «неинформированным» (Original) и статистически нейтральным (Gamma) подходами.
Метод построения уравнения регрессии	1. OLS. 2. Ridge (λ по CV). 3 . Ridge-EXT (Ridge в сочетании с poly/log/lag). 4 . PCA95 в сочетании с Ridge. 5. Lasso	Позволяет отделить эффекты усреднённой регуляризации (Ridge) от жёсткого отбора (Lasso) и от альтернативного снижения размерности (PCA).
Метод снижения размерности	1 . Base (никакого снижения размерности; используются без изменений Original / Gamma / L/R). 2 . PLS (латентные метатемики без Sum/Diff). 3 . PLS в сочетании с Sum/Diff.	Проверяет, насколько сама PLS-проекция и предварительное ортогональное разложение «масштаб – асимметрия» влияют на итоговую точность.

Для целей интерпретации 45 возможных сценариев, каждая обученная модель M_j оценивается одинаковым набором количественных показателей $\{q_{i,1}, \dots, q_{i,p}\}$. Показатели сгруппированы в семь логических кластеров, отражающих различные аспекты качества модели (таблица 2).

Все полученные значения нормализуются в диапазоне 0-1 (используется min-max трансформация). Далее внутри каждой логической группы берётся среднее нормированных скор:

$$Score_{i,g} = \frac{1}{|g|} \sum_{q_j \in g} s_{i,j}$$

Для окончательного ранжирования применяется простое невзвешенное среднее семи групповых скор:

$$Overall_i = \frac{1}{7} \sum_g Score_{i,g}$$

Таблица № 2

Показатели оценки качества модели

Группа	Аналитическая трактовка	Состав показателей
scale_errors	Абсолютные ошибки в исходной шкале. Чувствительны к единицам измерения.	MAE, MedAE, Huber, RMSE, LogCosh, SMAE, RMSLE
rel_errors	Относительные ошибки. Сопоставимы при разных масштабах ряда.	MAPE, RMSPE, MdAPE, WMAPE, GMRAE, APE bias
goodness_of_fit	Степень объяснённой дисперсии и корреляционные соответствия.	R ² , EVS, Pearson, Spearman, Kendall, CCC, NSE, KGE, TSS, Willmott d/d1
probabilistic	Адекватность прогнозной распределённой неопределённости.	CRPS, Winkler, PICP, Pinball, ε-insensitive
information_crit	Баланс «качество – сложность» по информационным критериям.	LogLik, Deviance, AIC, AICc, BIC, HQIC, GCV
cv_metrics	Стабильность на неучтенных данных.	CV-R ² , CV-RMSE
resid_diagnostics	Соответствие статистическим предпосылкам (нормальность, гомоскедестичность)	Durbin-Watson, Ljung-Box pp, Breusch-Godfrey pp, Jarque-Bera p, Shapiro-Wilk p, Anderson A ² , Breusch-Pagan p, White p

Данный интегральный показатель консолидирует масштабы ошибок, статистическую корректность и робастность модели. Таким образом, описанная процедура обеспечивает корректное и прозрачное сравнение всех 45 комбинаций нормализации, регрессионного алгоритма и снижения размерности, на основании многофакторной системы метрик.

Апробация проведена на основе данных ПАО «ГМК Норникель». В качестве эндогенной переменной выбран суточный дифференциал биржевой цены (Value Assessment Differential (VAD)), отражающий изменение инвестиционных ожиданий субъектов инвестирования:

$$VAD = P_{LAST} - P_{OPEN}$$

где P_{LAST} — цена закрытия акций организационно-технической системы за обменную сессию, P_{OPEN} — цена открытия в ту же сессию.

На рисунке 1 представлен трёхмерный куб сопоставления спецификаций моделирования.

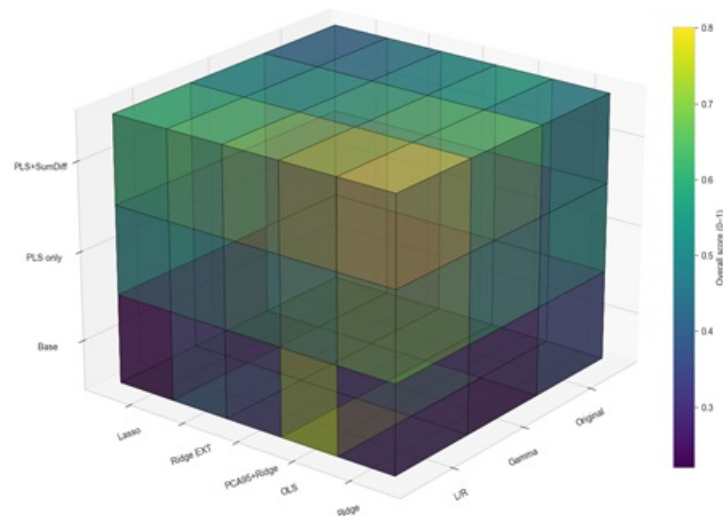


Рис. 1. – Трёхмерный куб сопоставления спецификаций моделирования VAD

Трёхмерный куб изображает $Overall_i$ (градиент 0,25–0,80) как функцию трёх экспериментальных осей:

- Нормализация потоков. Для любой регрессии переход Original → Gamma увеличивает балл в среднем на +0,07, а Gamma → Corr-γ-split (L/R) – ещё на +0,09. Наиболее яркий рост наблюдается в слоях probabilistic-метрик, где снижается CRPS и расширяется покрытие PICP.
- Уменьшение размерности. Base → PLS only даёт +0,11 (рост $R^2 \approx 0,05-0,06$). Добавление SumDiff обеспечивает ещё +0,04, главным образом за счёт сокращения относительных ошибок (MAPE снижается на 15 %).
- Регрессионное ядро. Ridge-столбцы во всех слоях выше OLS и Lasso, а прирост достигает +0,05 благодаря понижению дисперсии коэффициентов.

Максимальный балл достигается комбинацией Corr-γ-split + SumDiff + PLS + Ridge – верхний задний правый блок. На рисунке 2 представлен рейтинг интегральной оценки.

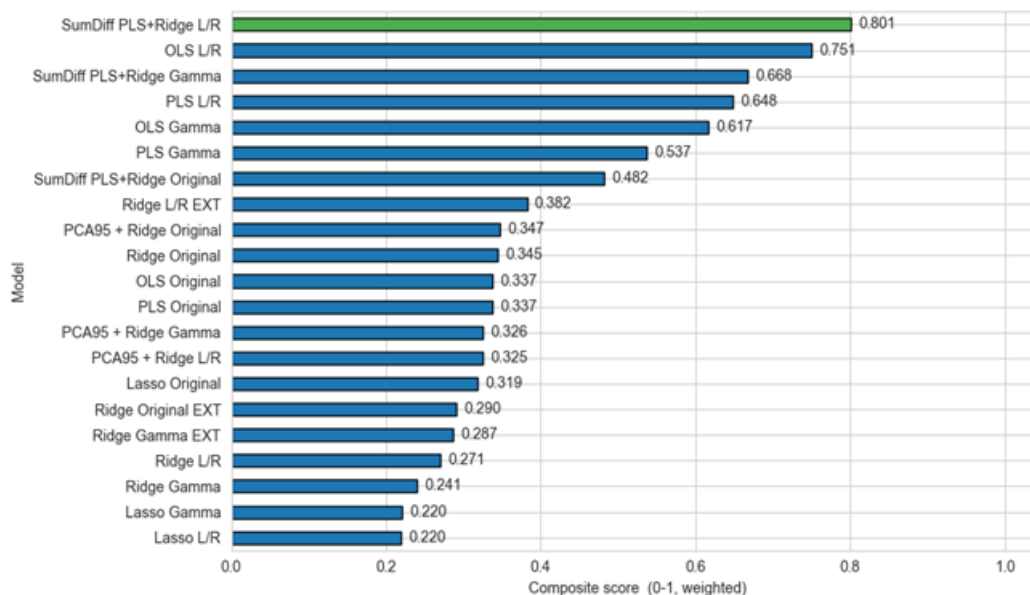


Рис. 2. – Рейтинг интегральной оценки $Overall_i$ применительно к VAD

Горизонтальная диаграмма численно подтверждает определенный ранее максимум. Разрыв «лидер – серебро» равен 0,0500 – эквивалентен снижению RMSE с 0,047 до 0,041 (-13 %) и увеличению $CV-R^2$ с 0,71 до 0,78. На рисунке 4 представлен радар-профиль качества модели.

В соответствии с профилем, представленным на рисунке 3, можно сделать следующие выводы:

- scale_errors: у лидера MAE = 0,031, RMSE = 0,041 (минимальные в выборке).
- rel_errors: MAPE снизилась до 5,9 % (против 7,1 % у OLS L/R).
- goodness_of_fit: $R^2=0,81$, NSE = 0,78, коэффициент конкордантности C = 0,88.
- probabilistic: CRPS = 0,032 (лучшее), Winkler-score ниже на 11 %, PICP \approx 0,95.
- information_crit: AICc = -18,7 – лучший баланс точности и сложности; снижение HQIC подтверждает отсутствие переобучения.
- cv_metrics: CV-RMSE = 0,045; $CV-R^2 = 0,76$ – наивысшая устойчивость.
- resid_diagnostics: Durbin-Watson = 1,95 (отсутствие автокорреляции), Jarque-Bera p = 0,27, следовательно нормальность остатков не отвергается.

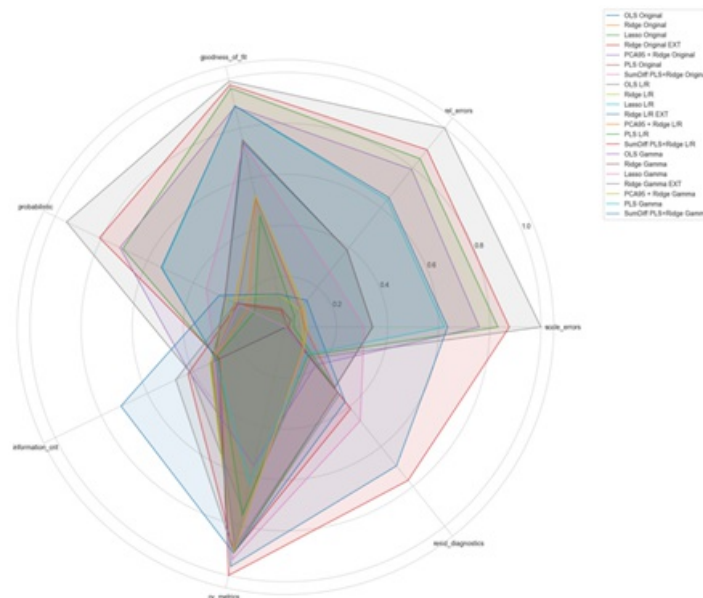


Рис. 3. – Профиль качества моделей VAD

Контурные моделей без одного из элементов (например, без Corr- γ -split или без PLS) демонстрируют характерные провалы на соответствующих лучах, что приводит к потере комплексного преимущества.

Ключевые выводы для VAD:

1. Corr- γ -split снижает хвосты распределений интенсивностей; RMSE и CRPS падают в среднем на 12–16 %.
2. SumDiff в сочетании с PLS агрегируют ~ 170 признаков в $k=8$ метатемастик; R^2 повышается на 0,05, а CV-RMSE падает на 9 %.
3. Ridge после PLS минимизирует $\text{Var}\hat{\beta}$ и улучшает AICс, что критично при гетероскедастичном VAD.

Комбинация трёх нововведений даёт суммарный прирост композитного балла на $\Delta\text{Overall} = 0,07 + 0,09 + 0,11 + 0,04 + 0,02 \approx 0,32$, совпадающий с разницей между лучшей и «базовой» Ridge-моделью на Original-данных (0,801 – 0,482). Таким образом, разработанная спецификация является статистически оптимальной для моделирования изменений VAD и, следовательно, наиболее надёжным ядром аналитического контура, ориентированного на инвесторскую реакцию [17, 18, 19].

Заключение

Таким образом, предложенная регрессионная спецификация — от Corr- γ -split-нормализации до ортогонализации «масштаб – асимметрия», PLS-проекции и Ridge-аппроксимации — оказалась не только статистически состоятельной, но и практически эффективной. Полученные результаты подтверждают, что именно комплексное сочетание методов, а не их изолированное применение, создаёт устойчивую основу для количественного учёта информационных импульсов в финансовой динамике [20]. Разработанная спецификация открывает путь к масштабируемому мониторингу любых корпоративных или отраслевых потоков, а дальнейшие исследования могут быть направлены на адаптацию динамических LDA-моделей и включение нелинейных регрессионных ядер для учёта высокочастотных аномалий информационной среды [21].

Библиография

1. Базилевский М.П. Сравнительный анализ разных подходов к оценке параметров регрессионных моделей с помощью метода наименьших модулей на примере моделирования стоимости домов по выборке большого объема // Инженерный вестник Дона. 2025. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2025/10130. EDN: DMVQOG.
2. Сенников А.С., Клянина Л.Н. Применение эконометрических моделей для формирования эффективных портфелей российских ценных бумаг без ограничения прав продажи // Инженерный вестник Дона. 2016. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3641. EDN: WWRHWJ.
3. Цвиль М.М., Бреус Д.А. Эконометрическое моделирование и прогнозирование объемов таможенных платежей в регионе деятельности Ростовской таможни // Инженерный вестник Дона. 2017. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4284. EDN: ZWZEMB.
4. Джангаров А.И., Ахметова Х.А. Программное обеспечение многофакторного регрессионного анализа при нарушении предположения о нормальном законе распределения наблюдений // Инженерный вестник Дона. 2019. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5786. EDN: RWUVII.
5. Корчагин С.А., Рубцов Д.Ю., Сердечный Д.В., Беспалова Н.В. Применение моделей машинного обучения для прогнозирования исполнения государственных контрактов // Инженерный вестник Дона. 2024. № 9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2024/9507. EDN: UCUPGE.
6. Аксенов П.Н., Богданова Т.А., Конников Е.А. Влияние информационной среды на экономические результаты в рамках event-индустрии // Финансовый бизнес. 2022. № 4(226). С. 121-127. EDN: BKXOPQ.
7. Родионов Д.Г., Конников Е.А., Шадров К.С. Инструменты анализа влияния эмоциональной окраски новостного фона на изменение курса криптовалют // Экономические науки. 2022. № 211. С. 139-160. DOI: 10.14451/1.211.139. EDN: AIQJMP.
8. Илалтдинова А.И., Родионов Д.Г., Конников Е.А. Влияние направленного цифрового информационного фона на стоимость акций ТНК // Информационные системы и технологии. 2021. № 2(124). С. 23-31. EDN: SDSYQF.
9. Родионов Д.Г., Пашинина П.А., Конников Е.А. Модель влияния информационной среды финансового рынка на основные параметры финансовых активов // Экономические науки. 2022. № 213. С. 74-84. DOI: 10.14451/1.213.74. EDN: DZYRNI.
10. Liu A., Chen J., Yang S.Y., Hawkes A.G. The Flow of Information in Trading: An Entropy Approach to Market Regimes // Entropy. 2020. № 22(9). DOI: 10.3390/e22091064. EDN: SHUJTI.
11. Mou Y., Zhou L., Chen W., Liu J., Li T. Filter Learning-Based Partial Least Squares Regression and Its Application in Infrared Spectral Analysis // Algorithms. 2025. № 18(7). DOI: 10.3390/a18070424.
12. Emura T., Matsumoto K., Uozumi R., Michimae H. G.Ridge: An R Package for Generalized Ridge Regression for Sparse and High-Dimensional Linear Models // Symmetry. 2024. № 16(2). DOI: 10.3390/sym16020223. EDN: CAODAB.
13. Gromova A.A., Tsareva A.K. Big data analytics: parsing, regression and visualization on the example of the Automotive market / A.A. Gromova, A.K. Tsareva // 02-07 декабря 2024 года. 2025. С. 156-158. EDN: MAZXIU.
14. Tran H.H., Rodionov D.G., Konnikov E.A. Analysis Vietnam's wind power potential in the context of sustainable development / H.H. Tran, D.G. Rodionov, E.A. Konnikov // Intelligent engineering economics and Industry 5.0 (IEEI_5.0_INPROM): Collection of works of the international scientific and practical conference. In 2 volumes, Санкт-Петербург, 25-28

апреля 2024 года. Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2024. С. 149-153. DOI: 10.18720/IEP/2024.1/35. EDN: TPFIXF.

15. Zaitsev A., Rodionov D., Khudaykulov S. Modeling the Impact of the Quality of the Political and Economic Environment on Population Migration / A. Zaitsev, D. Rodionov, S. Khudaykulov [и др.] // Proceedings of the 7th International Conference on Future Networks and Distributed Systems, Dubai United Arab Emirates. New York, NY, USA: ACM, 2023. С. 139-156. DOI: 10.1145/3644713.3644732. EDN: LXJTFT.

16. Конников Е.А., Старченкова О.Д., Бурова Е.В. The influence of socio-psychological context on the educational environment / E.A. Konnikov, O.D. Starchenkova, E.V. Burova // Экономика и управление: проблемы, решения. 2023. Т. 8, № 12(141). С. 147-159. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2023.12.08.012. EDN: BUIKUH.

17. Автотеев Ю.О., Конников Е.А., Крыжко Д.А. The influence of industrial structure on the level of education in the regions of Russia / Yu.O. Avtomeenkova, E.A. Konnikov, D.A. Kryzhko // Экономика и управление: проблемы, решения. 2023. Т. 8, № 12(141). С. 160-177. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2023.12.08.013. EDN: DXVJQH.

18. Старченкова О.Д., Поляков П.А. Сравнительный анализ программно-математических методов сопоставления данных в информационной среде / О.Д. Starchenkova, P.A. Polyakov // Молодежная неделя науки института промышленного менеджмента, экономики и торговли: сборник трудов всероссийской студенческой научно-учебной конференции, Санкт-Петербург, 02-07 декабря 2024 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2025. С. 153-155. EDN: SWDMWT.

19. Родионов Д.Г., Лямин Б.М., Купоров Ю.Ю. Автоматизированный анализ естественной информации / Д.Г. Родионов, Б.М. Лямин, Ю.Ю. Купоров [и др.]. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2024. 191 с. ISBN 978-5-7422-8587-8. EDN: JJBGCD.

20. Родионов Д.Г., Лямин Б.М., Крыжко Д.А., Конников Е.А. Физика информации в условиях цифровизации / Д.Г. Родионов, Б.М. Лямин, Д.А. Крыжко, Е.А. Конников. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2024. 160 с. ISBN 978-5-7422-8843-5. EDN: KRNILU.

21. Конникова О.А., Конников Е.А. Эмпирическое исследование реализации концепции data-driven marketing в российских компаниях / О.А. Конникова, Е.А. Конников // Управление бизнесом в цифровой экономике: седьмая международная конференция, Санкт-Петербург, 21-22 марта 2024 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет, 2024. С. 176-180. EDN: ORWYHB.

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Статья посвящена комплексному исследованию влияния информационной среды на финансовые показатели компании с использованием усовершенствованной регрессионной спецификации, что определяет её предметную область как стык эконометрики, анализа текстовых данных и финансового моделирования. Автор предлагает оригинальный метод обработки временных рядов интенсивностей тематических потоков, основанный на статической LDA-модели и последующем их преобразовании через процедуру Corr-γ-split-norm, ортогонализацию по признакам «масштаб – асимметрия» (Sum/Diff), выделение латентных метатематик с помощью Partial

Least Squares и использование Ridge-регрессии в качестве завершающего этапа. Такая методология отличается строгостью, чёткой статистической обоснованностью и последовательным устранением проблем, характерных для работы с высокоразмерными коррелированными данными.

Актуальность исследования определяется растущим значением информационного фона в экономических процессах, особенно в условиях цифровизации финансовых рынков и высокой волатильности котировок, обусловленной новостными потоками. Представленный подход позволяет количественно учесть влияние тематической структуры информационной среды на ключевые финансовые метрики, что открывает перспективы для разработки более точных аналитических и прогностических инструментов.

Научная новизна статьи выражается в интеграции процедур статистически корректной нормализации и декомпозиции тематических потоков с современными методами снижения размерности и регуляризации. Автору удалось предложить алгоритм, который не только повышает интерпретируемость регрессионных коэффициентов, но и обеспечивает комплексное устранение мультиколлинеарности, улучшая устойчивость и предсказательную способность моделей.

Стиль изложения работы отличается высокой научной дисциплиной: текст логичен, структура выдержана, каждая методическая часть сопровождается детальным обоснованием, математическим аппаратом и ссылками на релевантные исследования. Материал изложен последовательно – от постановки задачи и теоретического обоснования до экспериментальной верификации на реальных данных ПАО «ГМК Норникель». Иллюстративный материал (графики, таблицы, диаграммы) органично встроен в повествование и способствует восприятию сложных результатов.

Содержание работы демонстрирует глубокое владение предметом и широкий охват смежных направлений. Автор убедительно показывает, что наибольшая точность и стабильность прогнозов достигается не применением отдельного метода, а синергией нескольких взаимодополняющих процедур. Приведённая система метрик и многофакторная структура эксперимента обеспечивают объективность и воспроизводимость выводов.

Библиография статьи обширна, включает актуальные отечественные и зарубежные источники, отражающие как классические, так и современные подходы к тематическому моделированию, регрессионному анализу и финансовой аналитике. Это подчёркивает серьёзную исследовательскую базу работы.

В целом статья производит впечатление завершённого, оригинального и практически значимого исследования. Она представляет интерес для специалистов в области прикладной статистики, анализа данных, финансовой аналитики и эконометрики, а также может быть полезна разработчикам информационно-аналитических систем. Считаю, что статья полностью соответствует требованиям научного журнала, обладает высокой теоретической и практической ценностью и заслуживает публикации без доработок.

Программные системы и вычислительные методы

Правильная ссылка на статью:

Кирилов В.С. Обработка запросов с иерархическим характером разделяемых ресурсов // Программные системы и вычислительные методы. 2025. № 3. DOI: 10.7256/2454-0714.2025.3.72892 EDN: OHCZAE URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=72892

Обработка запросов с иерархическим характером разделяемых ресурсов

Кирилов Владимир Святославович

кандидат технических наук

доцент, кафедра Компьютерная безопасность; Северо-Кавказский федеральный университет

355045, Россия, Ставропольский край, г. Ставрополь, ул. Серова, 8, оф. 28

✉ cnhfysqrl@gmail.com



[Статья из рубрики "Операционные системы "](#)

DOI:

10.7256/2454-0714.2025.3.72892

EDN:

OHCZAE

Дата направления статьи в редакцию:

27-12-2024

Аннотация: Предметом данного исследования является разработка и анализ структуры данных и алгоритма для управления параллельным выполнением сообщений в микросервисной архитектуре без брокера сообщений. В условиях перехода к микросервисной архитектуре и асинхронному обмену сообщениями, особенно при отсутствии централизованного брокера, возникает необходимость в эффективных методах обеспечения порядка обработки сообщений, влияющих на общие ресурсы. Проблема заключается в том, что традиционные методы, такие как сегментирование, не гарантируют соблюдение порядка обработки сообщений при параллельном выполнении и усложняются при необходимости синхронизации доступа к ресурсам. В качестве альтернативы традиционным подходам рассматривается метод с использованием общей очереди и пула потоков. В работе исследуется и предлагается структура данных, которая обеспечивает возможность параллельной обработки сообщений при условии отсутствия конфликтов блокировки, тем самым гарантируя корректный порядок выполнения операций, связанных с общими ресурсами, и избегая взаимных блокировок. Основная цель состоит в создании механизмов управления доступом к ресурсам,

адаптированных для микросервисной архитектуры, без усложнения логики обработки сообщений и позволяющих избежать проблем, связанных с многопоточностью. В работе используется аналитический подход к разработке структуры данных и алгоритма, основанный на формализации задачи синхронизации, а также теоретический анализ алгоритмической сложности и корректности предложенного решения. Научная новизна работы заключается в предложении новой структуры данных, использующей упорядоченные множества и списки ожидания для эффективного управления параллельной обработкой асинхронных сообщений в микросервисных архитектурах, особенно там, где отсутствует брокер сообщений. Предлагаемый алгоритм позволяет динамически определять блокировки, связанные с сообщениями, а также разделять блокирующие и неблокирующие сообщения, что обеспечивает возможность их параллельного выполнения. Предложенная структура данных и алгоритм позволяют изменять детализацию блокируемых ресурсов, не усложняя при этом процедуры обработки сообщений, а также упрощают многопоточное программирование, позволяя рассматривать каждую процедуру обработки сообщения как однопоточную. Алгоритм не имеет проблемы взаимной блокировки ресурсов, что повышает общую отказоустойчивость системы. Выявленные недостатки, связанные с блокировкой ресурсов, предлагается устранить в дальнейших исследованиях.

Ключевые слова:

микросервисы, иерархии, контекст, данные, алгоритмы, сервер, протокол, брокер сообщение, запись, сообщение

Введение

Увеличение информационной нагрузки на корпоративные приложения привело к переходу на распределенные вычисления. Первым решением данной задачи была клиент/сервер архитектура. Однако, дальнейшее развитие систем привело к необходимости декомпозиции задач на подзадачи и увеличению количества серверов. С приходом таких систем как Kibernetis, Docker и DevOps технологий, широкое распространение получила микросервисная архитектура и системы, основанные на передаче сообщений [\[5\]\[6\]](#). Сообщения играют роль параметров вызова процедур и могут быть переданы используя сетевые протоколы. За время использования данной архитектуры, появилось несколько шаблонов проектирования. В частности, широкое распространение получили микросервисы, передача сообщений в которых построена по архитектуре asynchronous request/response [\[1\]\[2\]\[3\]](#) (рисунок 1).

Особый интерес представляют системы, построенные без брокера сообщений [\[4\]](#) (рисунок 2). Брокер сообщений (это обычно некоторый сервер, такой как Kafka, RabbitMQ, ActiveMQ, TIBCO) может быть узким местом системы, вследствие недостаточной производительности. Поэтому, системы, имеющие прямые соединения, потенциально имеют большую пропускную способность и меньшую задержку.

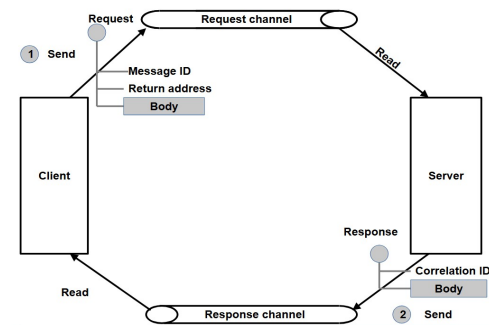


Рис. 1. Asynccgronous request/response передача сообщений.

Микросервисы использующие данный метод передачи данных обладают большой гибкостью и позволяют строить системы с большой пропускной способностью. Однако, на сообщения и способ передачи и обработки сообщений накладываются определенные ограничения. Рассмотрим ситуацию, когда у нас необходимо произвести 3 банковские операции: открыть счет, изменить информацию о счете и отменить открытие счета. Совершенно очевидно, что клиент отправит сообщения именно в таком порядке, как мы это записали. Каналы передачи данных должны передать эти сообщения не меняя их очередности. И обработаны они должны быть именно в этой очередности. При реализации сервера в однопоточном виде эти условия выполняются. Однако, при обработке сообщения бывает необходимо сделать другой вызов для получения дополнительной информации и, в этом случае, сервер выполненный в однопоточном виде будет простаивать. Основным способом решения данной проблемы (простоя сервера), в настоящий момент, является метод известный в англоязычной литературе под названием *sharding/шардинг*. Шардинг это распределение обработки сообщений на несколько микросервисов основываясь на некотором параметре, например первой букве фамилии). Допустим, что в примере, приведенном выше, производительности сервиса недостаточно для того, чтобы обслуживать клиентов. Тогда, мы делим обслуживание запросов на несколько работающих параллельно экземпляров микросервиса. Каждый экземпляр обрабатывает запросы, которые по какому-либо признаку изолированы. Например, пусть запросы на открытие счета для лиц, чьи первые буквы фамилий находятся в диапазоне А-Н, обрабатывает первый экземпляр сервиса, а остальные - второй [\[4\]\[7\]\[8\]\[9\]](#) (рисунок 3).

Данное решение отличается простотой реализации. Каждый экземпляр сервиса может работать в однопоточном режиме, что значительно снижает затраты на его проектирование. При такой конфигурации, порядок обработки сообщений клиента может не соблюдаться. Например, возможен случай, когда клиент отправит сообщение и оно попадет в сервис 1, а следующее сообщение попадет в сервис 2. В этом случае, порядок выполнения этих операций будет зависеть от многих факторов и возможен случай, когда первое сообщение будет обработано после второго.

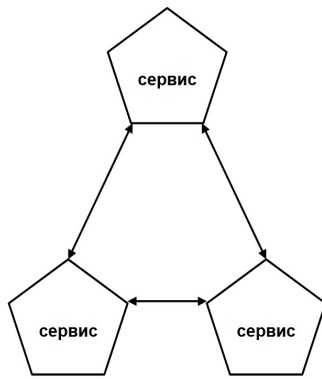


Рис. 2. Микросервисная архитектура без брокера сообщений.

Однако, т.к. как мы оговорили ранее, у нас нет разделяемых ресурсов между сервисом 1 и 2. Для нас важно только, чтобы, для вполне определенного клиента, поток сообщений выполнялся в порядке их отправки клиентом. При этом, не все задачи можно достаточно легко изолировать. Например, случай перевода средств от одного клиента другому может представлять определенные трудности, если клиенты попали в разные экземпляры микросервисов. Вследствие перечисленного, исполнение сервисов в многопоточном виде выглядит перспективным. Самым простым алгоритмом таких сервисов является создания отдельной нити для каждого разделяемого ресурса [\[10\]](#) или coroutines — многопоточный шаблон проектирования позволяющий писать асинхронный код в последовательной синхронной манере [\[11\]\[12\]](#). С ростом количества разделяемых ресурсов, такой подход становится не актуальным. Также, зачастую требуется групповая блокировка ресурсов, зависящих от некоторого более общего ресурса. Рассмотрим еще один пример. Допустим, что у нас планируется изоляция некоторого сектора аэропорта. В этом случае, мы должны закрыть все двери и не допускать их открытия. Одно из возможных решений - получить из базы данных все блокируемые ресурсы и создать на них блокировки в микросервисе. Однако, с ростом их числа, данный метод начинает требовать большое количество вычислительного времени. Более перспективным представляется метод с использованием разделяемой очереди и пула потоков [\[13\]\[14\]\[15\]](#). Свободный поток смотрит сообщение в разделяемой очереди, проверяет на наличие блокировок и, если их нет, производит обработку данного сообщения.

В процессе роста информационной системы наблюдается постепенный переход разработки сервисов от однопоточной модели (как самой простой в исполнении) к sharding модели с последующей реализацией по одной нити на один разделяемый ресурс. Дальнейшее распараллеливание бизнес логики приводит к созданию массивов средств синхронизации процессов или массивов ID разделяемых ресурсов. Отсутствие стандартизированного подхода приводит к увлечению времени разработки данных систем. Часть распараллеленных процессов влечет за собой рост производительности системы, а часть дала незначительный прирост производительности и не окупает времени на разработку.

Предметом научной работы являются обобщенный алгоритм обработки сообщений микросервисов.

Целью данной статьи является создание алгоритма, который предлагает обобщенный метод блокировки иерархических ресурсов основываясь на закодированной информации об иерархии при обработке поступающих в систему сообщений. Блокировка ресурсов происходит стандартизированным образом и не требует изменений в зависимости от

предметной области. Бизнес логика обработки различных сообщений разрабатывается программистом, без отвлечения ресурсов на проблемы синхронизации, способом близким к разработке однопоточных приложений. В данной работе рассматривается подход использования иерархических моделей описания ресурсов и общего алгоритма построения очередности обработки запросов, основанной на порядке приема сообщений и просмотре входящих сообщений на предмет доступности ресурсов. Подход с использованием иерархической модели блокируемых ресурсов и разделения процесса ожидания блокируемых ресурсов от процесса обработки сообщений является новым подходом решения задач синхронизации процессов. Это позволяет повысить производительность корпоративных приложений и уменьшить трудоемкость их разработки и получить заметный экономический эффект.

Теория

Рассмотрим поток различных сообщений, приходящий в микросервис. Данные сообщения относятся к одной доменной области, однако при этом должны быть

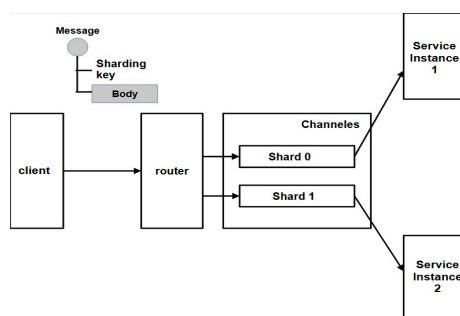


Рис. 3. Шаблон проектирования шардинг.

обработаны различным образом. Возможна ситуация, когда порядок обработки данных сообщений может влиять на результат. Рассмотрим последовательность сообщений, представленных на (рисунок 4). В данной последовательности мы предположили, что сообщения x_1 , x_2 , x_5 влияют на состояние некоторого разделяемого ресурса X_1 , x_3 на X_2 , а x_4 на X_3 и X_2 , причем X_1 является родительским ресурсом для X_2 и X_3 . Сообщения y_1 на Y_1 , y_2 , y_3 на Y_2 , а y_4 на Y_3 , причем состояние Y_1 является родительским для Y_2 и Y_3 . Сообщение xu изменяет состояния X_1 и Y_1 .

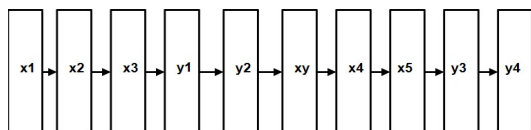


Рис. 4. Последовательность сообщений.

Предполагаемый порядок обработки сообщений представлен на (рисунок 5).

Здесь, сообщения, влияющие на некоторый разделяемый ресурс, выполняются в порядке доставки в микросервис, однако порядок обработки сообщений x и y не гарантируется. В приведенном примере, сообщение x_1 заблокировало выполнение сообщений x_2 , x_3 потому как состояние X_1 является родительским для X_2 и X_3 . В последовательности сообщений есть сообщения xu , которые могут влиять также на состояния ресурсов X_1 , и Y_1 . В этом случае, обработка сообщений x_i и y_i должна быть приостановлена, при достижении сообщений xu , и продолжена только после того, как это

сообщение будет обработано.

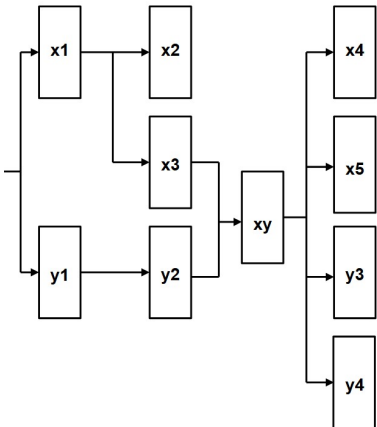


Рис. 5. Обработка сообщений.

Данный алгоритм достаточно трудно реализовать, основываясь на традиционных примитивах синхронизации (мьютексы, семафоры и т.д.), т.к., в общем случае, мы не знаем количество разделяемых ресурсов и, также, время обработки каждого сообщения может быть различным, вследствие того, что для выполнения действий нам возможно понадобятся дополнительные данные и мы вынуждены будем сделать вызов в другой микросервис для их получения. Обработка этих сообщений в одном потоке исполнения также не выглядит перспективным, потому как вызов в другой микросервис достаточно часто занимает много машинного времени и исполнение всех остальных сообщений будет приостановлено.

Рассмотрим структуру данных, представленную на (рисунок 6).

В представленной структуре данных Ordered set (коллекция элементов стандартной библиотеки C++), в котором хранятся указатели на Data Structure. Порядок следования этих указателей определяется наименьшим значением ключа в Set Node в этой структуре. Data structure также содержит Ordered set. Порядок там также определяется ключем в Set Node. Waiting messages представляют собой списки, в которые записи добавляются в порядке их добавления в структуру данных.

Рассмотрим алгоритм добавления сообщения в данную структуру представленный на (рисунок 7).

При получении сообщения, алгоритм сразу же генерирует все ключи, которые блокируют доступ к ресурсам. Данные ключи представляют собой структуры, описывающие иерархию разделяемых ресурсов и позволяющие быстро определять является ли один из ключей потомком или предком другого. Примеры генерации

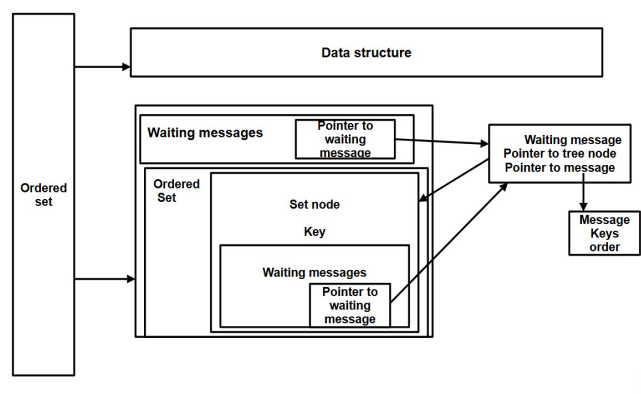


Рис. 6. Структура данных хранения информации о сообщениях.

таких ключей можно найти в следующих источниках [\[16\]\[19\]\[18\]](#). В данной работе далее рассматриваются ключи, сгенерированные согласно алгоритму [\[18\]](#). Для каждого ключа проводятся рассмотренные ниже проверки и сообщения попадают в соответствующие списки. В алгоритме мы оперируем указателями на структуры, вследствие этого, алгоритм не производит дублирование данных. Прежде всего, создается запись `Waiting Message`, в которой мы и храним сообщение и ряд другой информации. Ссылка на эту структуру широко используется в дальнейшем, для определения возможности обработки сообщения. Прежде всего, мы проверяем `Ordered set` на наличие `Data Structure` для наименьшего ключа которой, исследуемый ключ является дочерним. Если такая запись находится, значит у нас есть конфликт использования разделяемого ресурса и мы не можем произвести обработку данного сообщения.

В `Ordered set` может находиться несколько элементов `DataStructure`, для которых данный ключ является дочерним. Как будет показано далее, нам нужно найти `DataStructure` с наименьшим ключем, для которого данный ключ является дочерним. Там будет находиться крайняя добавленная запись, которая блокирует разделяемый ресурс. Произведем поиск в элементах `Data Structure` в `Ordered set` наличие `Set Node` с ключем, который совпадает с нашим. Если такая запись имеется, то мы просто добавляем ссылку на наш `Waiting Messge` в коллекцию `Waiting Messages`. Все записи в `Data Structure` `Waiting Messages` сохраняют исторический порядок, в соответствии с которым, они попали в микросервис. `Set Node` в коллекции `Waiting Messages` используются для определения наличия сообщений, которые заблокированы данным ключом. Если же у нас `Set Node` с соответствующим ключем не найден, то мы создаем новую запись, помещаем ее в обрабатываемый элемент `Data Structure`, при этом, в `Waiting Messages` будет находиться ссылка только на наше сообщение. Элемент `Data Structure` также обладает списком `Waiting Messages`, куда мы добавляем наше сообщение. Помимо приведенной на рисунке 6 структуры, у нас также имеется структура `Locked Keys`. Она представляет собой такую же коллекцию `Ordered Set` с ключами сообщений, которые либо уже обрабатываются, либо готовы к обработке. Для данных сообщений разделяемые ресурсы не блокируются ни одним обрабатываемым или подготовленным к обработке сообщением. Ключи сообщений находящиеся в `Locked Keys` имеют высший приоритет и не будут заблокированы ни одним новым сообщением. Последним шагом мы проверяем наличие ключей необработанных сообщений в `Locked Keys`.

Все ключи, которые на данный момент заблокированы, попадают в `Waiting Message Keys`. Если у нас заблокирован хотя бы один ключ, то для каждого ключа из всего подмножества ключей, для которого не найдено блокировок, создаются элементы `Data Structure`, в котором находится только один элемент множества `Set Node` с одним ключем и сообщение помещается в `Waiting Message`. Если блокировки отсутствуют, то сообщение готово к обработке и все связанные с ним ключи попадают в `Locked Keys`.

После окончания обработки сообщения, выполняется алгоритм, приведенный на рисунке 8. Для всех ключей, связанных с обработанным сообщением, найдем все элементы `DataStructure` в коллекции `Ordered Set`, ключи которых являются потомками данного ключа. Для найденных структур выполним операцию обработки элемента данных `Data Structure`. Если ни один элемент `Data Structure` на предыдущем шаге не был найден, то данную операцию следует провести также и с элементом `Data Structure`, которая содержит ключ предок для текущего ключа, причем среди всех `DataStructure` с такими ключами, данная должна содержать наибольший ключ предок.

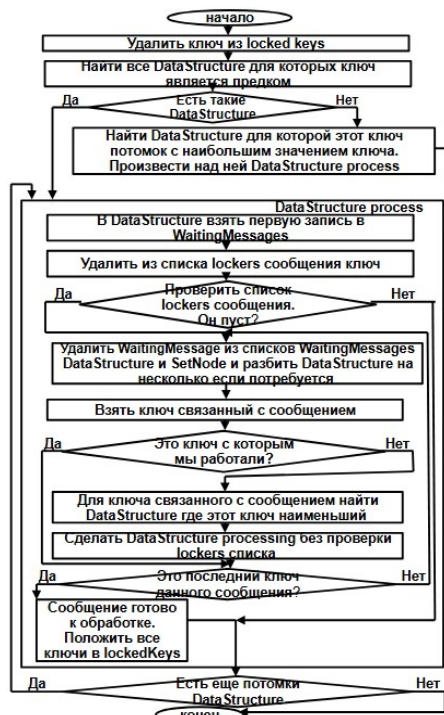


Рис. 7. Алгоритм окончания обработки записи.

Рассмотрим подробнее процесс обработки элемента Data Structure. В нашем случае, первая запись в коллекции Waiting Messages связана с сообщением, которое потенциально может быть обработано при снятии блокировки, связанной с данным ключом. Мы удаляем блокировку, связанную с обрабатываемым ключом, из списка Lockers в элементе Waiting Message. Если список Lockers пуст, то рассматриваемое сообщение более не заблокировано ключами и мы стираем ссылки на элемент Waiting Message из коллекции Waiting Messages для рассматриваемого элемента Data Structure и Set Node. На данном шаге, у нас может возникнуть ситуация, когда элемент Set Node больше не имеет каких-либо сообщений, которые блокировались ключом, связанным с ним. В этом случае, его нужно удалить. Если в элементе Data Structure больше нет ни одного элемента Set Node, то его тоже нужно удалить. При удалении элемента Set Node возможна ситуация, когда удаляемый объект имеет наименьшее значение ключа для данных элементов Data Structure. В этом случае, возможна ситуация, когда у нас есть несколько ключей потомков, которые не блокируют друг друга. Следовательно, у нас должно быть создано несколько элементов Data Structure, в которые попадут независимые поддеревья первоначального дерева заблокированных сообщений. Данное разделение провести достаточно просто. Нам нужно взять наименьший ключ (он находится в начале коллекции Ordered Set) и сгенерировать верхний предел для дочернего поддерева дерева заблокированных сообщений. Функционал коллекции Ordered Set позволяет найти положение ключа, который не менее выбранного ключа. Данная операция называется *lower_bound*. Далее, мы копируем данные из коллекции Waiting Messages каждого элемента Set Node в элемент Data Structure коллекции Waiting Messages и сортируем их в порядке возрастания. Полученные элементы Data Structure добавляем в коллекцию Ordered Set, а первоначальный элемент Data Structure удаляем. С нашим сообщением может быть связано несколько ключей, которые были разблокированы ранее. Их также просто найти, т.к. они будут в элементе Data Structure, ключ которого, предок для текущего ключа. Т.к. мы работаем с указателями, то они будут указывать на сообщение, у которого список блокировок пуст. Этот элемент Waiting Message следует удалить из коллекции. При этом, нам возможно нужно будет удалить

коллекцию Set Node, элемента DataStructure и возможно разделить дерево элементов в DataStructure на несколько поддеревьев, способом, описанным выше. Сообщение, у которого пуст список Locked, готово к обработке и ключи, с ним связанные, следует сохранить в коллекцию Locked Keys.

В алгоритме присутствуют два участка, которые должны выполняться непрерывно. Первая область начинается с просмотра сообщения в очереди и заканчивается перед обработкой сообщения. Вторая начинается после обработки сообщения и заканчивается проверкой заблокированных ключей. Таким образом, только обработка сообщения выполняется многопоточно.

Анализ

Произведем оценку сложности по времени работы алгоритма. Здесь и далее рассматриваются ключи, сгенерированные по алгоритму [\[18\]](#).

Рассмотрим процесс добавления записи. В этом случае, сложность алгоритма поиска элемента Data Structure для добавления в него нового сообщения $O(\log m)$, где m - количество ключей блокирующих поддеревьев. В худшем случае, это число кратно количеству ожидающих сообщений n . Поиск нужной коллекции Set Node, также имеет вычислительную сложность $O(\log m)$. Добавление записи в коллекцию Waiting Messages и Locked Keys имеет сложность $O(1)$. Следовательно, сложность всего алгоритма добавления новой записи $O(\log m)$.

При окончании обработки сообщения, для каждого ключа связанного с ним, мы ищем соответствующую элемент Data Structure и в данном случае вычислительная сложность алгоритма $O(\log m)$. При разделении элемента Data Structure на несколько, мы вынуждены сортировать коллекцию Waiting Messages и, в худшем случае это имеет сложность $O(n \cdot \log(n))$.

Покажем корректность работы алгоритма.

Все ключи, связанные с сообщением, влияют на блокировку сообщений.

При получении сообщения, для всех ключей проверяется ключи которые являются предками текущего ключа в DataStructure. Если такие элементы находятся, то информация о данном сообщении сохраняется в DataStructure. Если таких ключей не выявлено, но данный ключ является предком для других сообщений то этого ключа создается элемент DataStructure. Таким образом, либо все ключи имеют записи в соответствующих элементах DataStructure, либо сообщение отправляется на обработку.

При добавлении ключа, сохраняется их порядок доступа к разделяемым ресурсам.

При получении нового сообщения проверяются все ключи на наличие блокировки. Алгоритм проверяет наличие элемента DataStructure, ключ которой является предком для проверяемого ключа. Наличие такой структуры говорит о том, что у нас уже есть ожидающие сообщения, которые блокируют ресурс. Данный ресурс необходим для обработки нашего сообщения. Однако, вследствие того, что у нас может быть несколько элементов DataStructure с ключами, которые являются предками к текущему, нам нужно найти наименьший такой объект. Среди всех элементов DataStructure, чьи ключи являются предками к текущему, тот элемент, чей ключ меньше, был добавлен позже. Действительно, мы добавляем новый элемент DataStructure в случае, если не найден ни один объект, для которого ключ является предком нашего ключа. Следовательно, если мы находим несколько элементов DataStructure, для которых наш ключ является

потомком, то это означает, что тот объект с наименьшим ключом был добавлен позже всего. При этом, как не трудно заметить, ключи упорядочены и потомки всегда больше, чем предки. В найденной структуре мы либо добавляем элемент `WaitingMassege` к коллекции `WaitingMasseges` структуры `SetNode`, если у нас есть `SetNode` с данным ключом, или же создаем новую структуру `SetNode`. Порядок сообщений, добавляемых в элемент `DataStructure`, обеспечивается очередью коллекции `WaitingMasseges`. Таким образом, у нас поддерживается очередность добавления сообщений внутри элементы `DataStructure`.

Разделение элемента `DataStructure` сохраняет порядок сообщений.

При завершении обработки сообщения для каждого ключа, связанного с ним, мы находим элемент `DataStructure`, для которого это сообщение является потомком. Если у нас есть несколько таких объектов, для которых данный ключ является потомком, то мы выбираем тот, у которого ключ наибольший. При разделении `DataStructure` возникает ситуация, когда следующее сообщение в очереди `WaitingMasseges` содержит ключ, который наименьший, т.е. это предок для всех остальных ключей в данном объекте. У сообщения это последний ключ, который блокирует данное сообщение от обработки. Ни одного другого сообщения с данным ключом нет. Алгоритм отправляет сообщение на обработку, и должен удалить структуру `SetNode` т.к. нет больше сообщений, ассоциированных с данным ключом. Следовательно, должен поменяться ключ всего элемента `DataStructure`. В элементе `DataStructure` могут находиться структуры `SetNode`, ключи которых являются потомками удаляемого ключа, но при этом друг другу они могут не быть ни потомками, ни предками. Таким образом, мы получаем несколько подмножеств ключей, для каждого из которых создаем свой элемент `DataStructure`. Т.к. была выбран элемент `DataStructure` с наибольшим определяющим ключом, то все ключи связанные с его `SetNode` больше этого ключа. Вследствие этого, ключи новых элементов `DataStructure`, чей определяющий ключ - это минимальный ключ входящих в неё `SetNode`, будут больше удаляемого ключа. А, следовательно, порядок элементов `DataStructure` не поменяется и после обработки сообщения будут протестированы на выполнение более ранних сообщений. Внутри новых элементов `DataStructure` также будет отсортирован список `WaitingMasseges`, следовательно более старые сообщения будут первыми в этом списке.

Покажем что алгоритм корректно выбирает сообщения.

После того как алгоритм произвел обработку сообщения, происходит высвобождение ресурсов и выбор следующего сообщения. Последовательно происходит освобождение ресурсов, связанных с ключами. Для каждого ключа находятся все элементы `DataStructure`, ключи которых являются потомками освобождаемого ключа. Как было сказано ранее, такая ситуация возможна только после разделения элемента `DataStructure`. Следовательно, у нас есть несколько кандидатов на обработку. Для каждой такого кандидата, мы берем первое сообщение в его очереди `WaitingMessages` и удаляем разблокированный ключ из списка `Locked`. Далее, мы проводим описанные выше операции и проверяем сообщение на возможность обработки. Наш ключ мог заблокировать несколько таких сообщений, которые являются его потомками, но могут быть обработаны независимо друг на друга. Если таких сообщений не найдено, то мы рассматриваем добавленные позже сообщения, которые попали в элементы `DataStructure` с ключом, который является предком удаляемого. Т.к. обработка этого сообщения зависит от нашего ключа, алгоритм берет только одно сообщение, элемент `DataStructure` которого имеет наибольшее значение и, следовательно, был добавлен раньше других. Как мы видим, хронология обработки сообщений соблюдена и

представленный алгоритм корректно выбирает сообщения.

Рассмотрим возможность взаимной блокировки сообщений с несколькими ключами. Как мы видим, алгоритм имеет 2 непрерывные секции, однако, они имеют доступ к одному и тому же разделяемому ресурсу - списку ключей. Следовательно, это можно реализовать при помощи одного объекта синхронизации. При этом происходит единовременная проверка возможности заблокировать доступ к некоторым ресурсам и невозможна ситуация, когда оба сообщения потребуют доступ к одним и тем же ресурсам и будут одновременно блокировать доступ. Следовательно, взаимная блокировка невозможна.

Заключение

Приведенный алгоритм позволяет изменять детализацию блокируемых ресурсов, при этом не увеличивая сложность написания процедур обработки сообщений. С помощью этого алгоритма создаются иерархические структуры блокируемых ресурсов, которые позволяют выбирать уровень иерархии блокировки ресурса. Предлагаемый подход позволяет программисту декларировать, какие ресурсы необходимы для обработки и не оперировать категориями многоточечного исполнения. Разделение алгоритма блокировки ресурсов и процедуры обработки сообщений позволяет разрабатывать алгоритмы обработки сообщений, исходя из парадигмы однопоточной среды, что уменьшает возможность возникновения ошибок, связанных с многопоточностью.

Алгоритм лишен такой проблемы, как взаимная блокировка ресурсов, что также положительным образом влияет на отказоустойчивость систем.

К недостаткам можно отнести то, что блокировка ресурса происходит перед началом обработки сообщения, а снятие блокировки после его окончания.

Применение данного алгоритма значительно повышает отказоустойчивость микросервисов.

В качестве дальнейшего направления данного научного исследования предполагается проведение сравнительного анализа эффективности построения микросервисов в однопоточном исполнении, без блокировок и с использованием данного алгоритма. Также, планируется разработка алгоритма обработки запросов с иерархической структурой блокируемых ресурсов. В свете проблем, которые наблюдаются в данной области на современном этапе, направление данного исследования является перспективным.

Библиография

1. Asynchronous Request-Reply pattern. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/patterns/async-request-reply>
2. Microservices: Asynchronous Request Response Pattern. URL: <https://medium.com/@pulkitswarup/microservices-asynchronous-request-response-pattern-6d00ab78abb6>
3. Request/Response Pattern with Spring AMQP. URL: <https://reflectoring.io/amqp-request-response/>
4. Richardson C. Microservices Patterns. – 2019.
5. Hohpe G., Woolf B. Enterprise Integration Patterns: Designing, Building, and Deploying Messaging Solutions. – 20.
6. Fowler M., Rice D., Foemmel M., Hieatt E., Mee R., Stafford R. Patterns of Enterprise Application Architecture. – 2004.

7. Sadalage P., Fowler M. NoSQL Distilled: A Brief Guide to the Emerging World of Polyglot Persistence. – 2012.
8. Wang G., Shi Zhijie J., Nixon M., Han S. SoK: Sharding on Blockchain. // AFT '19: Proceedings of the 1st ACM Conference on Advances in Financial Technologies. – 2019. – С. 41-61. URL: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3318041.3355457>
9. Introducing Elastic Scale preview for Azure SQL Database. URL: <https://azure.microsoft.com/en-us/blog/introducing-elastic-scale-preview-for-azure-sql-database>
10. Tasks and Parallelism: The New Wave of Multithreading. // [Электронный ресурс] URL: <https://www.codemag.com/article/1211071/Tasks-and-Parallelism-TheNew-Wave-of-Multithreadin>
11. Coroutine Is a New Thread. URL: <https://medium.com/globant/coroutine-is-a-new-thread-934d9956ce2e>
12. Threads vs Coroutines in Kotlin. URL: <https://www.baeldung.com/kotlin/threads-coroutines>
13. Christudas B. Query by Slice, Parallel Execute, and Join: A Thread Pool Pattern in Java. URL: <https://web.archive.org/web/20080207124322/http://today.java.net/pub/a/today/2008/01/31/query-by-slice-parallel-execute-join-thread-pool-pattern.html>
14. Programming the Thread Pool in the .NET Framework. URL: [https://learn.microsoft.com/en-us/previous-versions/dotnet/articles/ms973903\(v=msdn.10\)?redirectedfrom=MSDN](https://learn.microsoft.com/en-us/previous-versions/dotnet/articles/ms973903(v=msdn.10)?redirectedfrom=MSDN)
15. Introduction to Thread Pools in Java. URL: <https://www.baeldung.com/thread-pool-java-and-guava>
16. O'Neil P. et al. ORDPATHs: Insert-friendly XML node labels // Proceedings of the 2004 ACM SIGMOD international conference on Management of data. – 2004. – С. 903-908. URL: <http://www.cse.iitb.ac.in/infolab/Data/Courses/CS632/2014/2007/Papers/ordpath.pdf>
17. PostgreSQL index-ltree. URL: <http://www.sai.msu.su/~megera/postgres/gist>
18. Кириллов В.С. Бинарное кодирование иерархических структур // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. – 2023. – Т. 43, № 2. – С. 44-54. <https://doi.org/10.26117/20796641-2023-43-2-44-54> ISSN 2079-664 EDN: XUMKPG

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Представленная статья на тему «Обработка запросов с иерархическим характером разделяемых ресурсов» соответствует тематике журнала «Программные системы и вычислительные методы» и посвящена вопросу, связанному с увеличением нагрузки на корпоративные приложения, что приводит к переходу на распределенные вычисления. По мнению авторов с приходом Kibernetis, Docker и DevOps технологий, широкое распространение получила микросервесная архитектура и системы, основанные на передаче сообщений. За время использования данной архитектуры, появилось несколько шаблонов проектирования. В частности, широкое распространение получили микросервисы, передача сообщений в которых построена по архитектуре asynchronous request/response.

Авторами рассмотрены системы, построенные без брокера сообщений. Рассмотрены микросервисы, использующие данный метод передачи данных, обладающие большой гибкостью и позволяющие строить системы с большой пропускной способностью. Однако,

на сообщения и способ передачи и обработки сообщений накладываются определенные ограничения. Авторами проанализирована ситуация, когда клиенту необходимо произвести три операции: открыть счет, изменить информацию о счете и отменить открытие счета. Авторам кажется очевидным, что клиент отправит сообщения именно в таком порядке. При реализации сервера в однопоточном виде обработка сообщений происходит в такой последовательности. При обработке сообщения бывает необходимо сделать другой вызов для получения дополнительной информации и тогда сервер, выполненный в однопоточном виде, будет простаивать. По мнению авторов решением данной проблемы является sharding.

Статья достаточно структурирована - в наличии введение, заключение, внутреннее членение основной части. В статье авторами рассмотрены: поток различных сообщений, приходящий в микросервис; структуре данных Ordered set, в котором хранятся указатели на Data Structure, алгоритм добавления сообщения в данную структуру.

Авторы статьи провели аналитический обзор российской и зарубежной актуальной литературы. К недостаткам можно отнести: качество языка не отвечает требованиям научной статьи.

Статья очень средняя по содержанию, смыслу, носит обзорный характер, отсутствуют четко сформулированные выводы и т.п. (с точки зрения ВАКовских требований). Чувствуется «студенческая рука». Также, практическая значимость статьи на среднем уровне.

Из содержания статьи слабо прослеживается научная новизна. Отсутствуют четко сформулированные цель, предмет исследования, также не обоснована актуальность исследования.

Рекомендуется четко обозначить научную новизну исследования, сформулировать предмет, цель исследования, обосновать актуальность. Обратит внимание на содержание и оформление списка литературы в соответствии с ГОСТ. Также будет целесообразным добавить о перспективах дальнейшего исследования.

Рекомендуется более четко обозначить проблему исследования и авторский вклад.

Статья «Обработка запросов с иерархическим характером разделяемых ресурсов» требует доработки по указанным выше замечаниям. После внесения поправок рекомендуется к повторному рассмотрению редакцией рецензируемого научного журнала.

Результаты процедуры повторного рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Статья посвящена важной и актуальной проблеме современной компьютерной науки - разработке эффективного алгоритма обработки сообщений в микросервисных архитектурах с учетом иерархического характера разделяемых ресурсов. Автор предлагает инновационное решение, которое позволяет стандартизировать процесс синхронизации доступа к ресурсам в условиях параллельной обработки запросов и высокой нагрузки на систему.

Основной предмет исследования составляет разработка обобщенного алгоритма, который обеспечивает корректную обработку сообщений, учитывая их взаимозависимость через иерархию разделяемых ресурсов. Автор подробно рассматривает проблему соблюдения порядка выполнения операций при распределенной обработке сообщений, что особенно важно для таких критически важных систем, как банковские приложения или системы управления ресурсами.

Методологическая основа исследования базируется на применении иерархической модели блокировки ресурсов, где каждый ресурс описывается специальным ключом, отражающим его положение в иерархии. Автор предлагает оригинальную структуру данных, включающую Ordered Set и Waiting Messages, которая позволяет эффективно управлять очередностью обработки сообщений. Особое внимание уделено разделению процессов блокировки ресурсов и их непосредственной обработки, что существенно упрощает разработку сложных распределенных систем и снижает вероятность ошибок, связанных с многопоточностью.

Актуальность представленного исследования не вызывает сомнений, так как проблема эффективной обработки сообщений в микросервисных архитектурах становится все более значимой с ростом популярности распределенных систем. Автор убедительно демонстрирует, что традиционные подходы к синхронизации, такие как мьютексы или семафоры, оказываются недостаточно эффективными в условиях работы с иерархическими ресурсами и высокой нагрузкой.

Научная новизна работы проявляется в нескольких аспектах. Во-первых, предложен принципиально новый метод блокировки ресурсов, основанный на их иерархическом представлении. Во-вторых, разработан алгоритм, который позволяет разделить процессы синхронизации и обработки сообщений, что значительно упрощает разработку сложных систем. В-третьих, доказана корректность работы алгоритма и отсутствие взаимных блокировок, что существенно повышает надежность и отказоустойчивость систем.

Статья отличается четкой структурой и логичным изложением материала. Введение содержит обоснование актуальности исследования и постановку проблемы. Теоретическая часть подробно описывает предлагаемый алгоритм и используемые структуры данных. Особого внимания заслуживает анализ сложности алгоритма, где автор демонстрирует его эффективность, и доказательство корректности работы, подтверждающее надежность предложенного решения. Графические иллюстрации существенно дополняют текст и делают его более наглядным. Библиография включает актуальные и релевантные источники, отражающие современное состояние исследований в области микросервисов и параллельных вычислений.

Автор приходит к обоснованным выводам о том, что предложенный алгоритм успешно решает поставленную задачу обработки иерархических ресурсов в микросервисных архитектурах. Основные преимущества решения включают стандартизацию процесса блокировки ресурсов, упрощение разработки за счет разделения процессов синхронизации и обработки, а также гарантированное отсутствие взаимных блокировок. Эти характеристики делают алгоритм особенно ценным для практического применения.

Представленная статья, несомненно, вызовет значительный интерес у широкого круга специалистов в области распределенных систем, разработчиков микросервисов и архитекторов программного обеспечения. Практическая значимость исследования особенно очевидна для таких областей, как финансовые системы, корпоративные приложения и другие сферы, где требуются высокая производительность и надежность обработки транзакций.

Учитывая научную ценность, актуальность и высокое качество изложения материала, статью можно рекомендовать к публикации. Представленное исследование является значимым вкладом в область компьютерных наук и открывает перспективные направления для дальнейших разработок в области обработки распределенных запросов. Особого внимания заслуживает предложенный автором план дальнейших исследований, включающий сравнительный анализ эффективности различных подходов к построению микросервисов.

Программные системы и вычислительные методы

Правильная ссылка на статью:

Тиханьчев О.В. О разделении ответственности за ошибки эксплуатации робототехнических систем //

Программные системы и вычислительные методы. 2025. № 3. DOI: 10.7256/2454-0714.2025.3.72826 EDN:

OMKHOA URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=72826

О разделении ответственности за ошибки эксплуатации робототехнических систем

Тиханьчев Олег Васильевич

ORCID: 0000-0003-4759-2931

кандидат технических наук

заместитель начальника отдела управления перспективных разработок, ГК "Техносерв"

111395, Россия, г. Москва, ул. Юности, 13

✉ to.technoserv@gmail.com



[Статья из рубрики "Показатели качества и повышение надежности программных систем"](#)

DOI:

10.7256/2454-0714.2025.3.72826

EDN:

OMKHOA

Дата направления статьи в редакцию:

23-12-2024

Аннотация: Актуальность выбора предмета исследования как основы обеспечения безопасности применения робототехнических систем различного назначения, в первую очередь – использующих для управления искусственный интеллект, и объекта исследования, которым являются проблемы разделения ответственности за разработку и эксплуатацию робототехнических систем, определяется имеющимся противоречием между потребностью автономного применения робототехнических систем и сложностью программной реализации этого требования. В то же время, в робототехнике, довольно часто, именно ошибки алгоритмов управления служат источником большинства проблем. На основании анализа нормативных документов, регламентирующих разработку средств искусственного интеллекта, проанализированы возможные проблемы обеспечения безопасности применения автономных робототехнических систем. Синтезирован вывод, что в существующем состоянии данные документы не обеспечивают решения проблемы безопасности систем искусственного интеллекта. В качестве методологической основы исследования был избран системный подход. Использование системного подхода,

методов декомпозиции и сравнительного анализа, дало возможность рассматривать в комплексе проблемы разделения зон ответственности разработчиков и эксплуатантов автономных и частично автономных роботов, реализующих принципы управления на основе искусственного интеллекта. Источниковую базу исследования составили научные статьи, нормативные и законодательные документы, находящиеся в открытом доступе. Сделан вывод, что существующие подходы к обучению и самообучению систем искусственного интеллекта, управляющих автономными роботами "размывают" границы ответственности участников процесса, что, в теории, может приводить к возникновению критических ситуаций при эксплуатации. С учётом этого, на основе анализа типового процесса разработки и применения, предложено уточнить распределение ответственности, а также добавить в процесс новых участников: дополнить его специалистами, направленными занимающимися безопасностью и непредвзятостью искусственного интеллекта (AI Alignment), а также обеспечить групповой подход в разработке алгоритмов искусственного интеллекта и машинного обучения, обеспечивающий снижение фактора субъективности. Применение синтезированных в статье принципов разделения ответственности, теоретически, обеспечит повышение безопасности робототехнических систем, построенных на основе использования искусственного интеллекта

Ключевые слова:

робототехнические системы, автономные роботы, искусственный интеллект, ошибки при разработке, ошибки эксплуатации, контроль безопасности алгоритмов, ответственность разработчика, качество тестирования, ответственность эксплуатанта, разделение ответственности

Введение

В последнее время в специальной литературе всё чаще появляются упоминания о проблемах в обеспечении безопасности при эксплуатации робототехнических систем (РТС) различного назначения, особенно в автономном исполнении. Даже несмотря на то, что любая автономность является довольно относительным понятием: автономная система просто по гибким алгоритмам выполняет задания, поставленные человеком, реализуя большую или меньшую степень самостоятельности.

Как показывает практика, доля автономных систем постоянно растёт во всех областях: в промышленности, в транспорте, в военной сфере, что является объективной тенденцией, важность и влияние которой невозможно не учитывать [\[1,2,3\]](#).

Разумеется, при выполнении этих заданий могут возникать ошибки. Часть из них будет критическими, приводящими к материальным потерям или даже гибели людей. И тогда возникает вопрос ответственности за совершения данных ошибок.

Существующая система разделения ответственности между разработчиками и эксплуатантами сложных технических систем построена на следующих принципах:

- разработчик создаёт систему, функционирующую в рамках заданных заранее условий, разрабатывает и описывает правила её эксплуатации, проводит, с привлечением заказчика, приёмо-сдаточные испытания и гарантирует, что в заданных границах система будет функционировать успешно;

- пользователь до начала эксплуатации обязан изучить систему, подтвердить свои знания и, в дальнейшем, эксплуатировать её в рамках требований, описанных в документации, с соблюдением общепринятых нормативных правил;
- техническая служба пользователя или заказчика, служба поддержки, должны обеспечивать своевременный и полный контроль технических параметров системы, установленных в эксплуатационной документации, своевременно проводить требуемое обслуживание;
- в случае аварий и катастроф привлекается внешний арбитраж, создаётся комиссия, определяющая причины происшествия и его виновников.

Эта система долго и успешно работает в различных областях: на производстве, на транспорте и в других.

Актуальность поднятой в статье проблемы в том, что для РТС, особенно автономных, такая система может давать сбой. Данный вывод основан на том, что вся используемая в настоящее время система распределения ответственности за эксплуатацию сложных технических систем основана на статичности их структуры и правил поведения. Эта структура разрабатывается в ходе создания систем и поддерживается неизменной в ходе эксплуатации. Изменения структуры производятся достаточно редко и по строго определённого алгоритму, с фиксацией доработок в конструкторской и эксплуатационной документации, с доведением изменений до всех участников процесса.

Данный подход не предусматривает, что в ситуации применения РТС, особенно автономных, может проводиться самостоятельная модификация некоторых компонентов системы в ходе эксплуатации. А последнее является нормой для автономных систем, использующих алгоритмы управления на основе обучения и самообучения.

Таким образом, проблема распределения ответственности при разработке и эксплуатации автономных РТС является своевременной и актуальной.

1 Анализ проблемы разделения ответственности

Рассмотреть проблему предлагается на основе анализа типовых ошибок, возникающих при эксплуатации РТС.

Учитывая типовую структуру РТС, ошибки её эксплуатации могут порождаться двумя основными группами причин [4]:

- поломками в электромеханической части, служащей, преимущественно, в качестве исполнительных механизмов РТС;
- сбоями и ошибками алгоритмов программного обеспечения, обеспечивающего управление РСТ.

С ответственностью за проблемы первого рода относительно понятно – они делятся между разработчиком и эксплуатантами РТС в соответствии с их обязанностями, прописанными в рабочей конструкторской и эксплуатационной документации (ЭД). Этот процесс отработан многолетней практикой и корректно описан в нормативно-технической документации. Разумеется, может возникнуть ситуация, когда изменения в собственную конструкцию, потенциально приводящие к нештатной ситуации, попытается внести автономный робот. Но это скорее исключение, причём относящее к сфере алгоритмических, а не технических, проблем.

Намного сложнее вопрос разделения ответственности решается в части ошибок программного обеспечения. Особенно для автономных РТС, преимущественно реализующих обучаемые, то есть модифицируемые алгоритмы.

2 Варианты решения проблемы

Несмотря на внешнее впечатление самостоятельной работы алгоритмов автономных РТС, как технических, так и программных «ботов», на самом деле за любым действием алгоритма стоит человек. Вопрос лишь в количестве циклов преобразования между сформированным человеком начальным, и реализуемым РТС конечным алгоритмом. В разработке и уточнении алгоритмов автономных РТС участвует целая группа специалистов: аналитики, алгоритмисты, программисты, тестировщики, специалисты по управлению знаниями, эксплуатанты в части как определения границ постановки задач, так и дообучения в ходе применения. Каждый из указанных специалистов выполняя свою часть совместной работы, задаёт исходные данные для последующих участников цикла разработки и эксплуатации. Теоретически, каждый из участников процесса может совершать ошибки разного рода: как создавая их, так и пропуская, и закладывая основу для ошибок, создаваемых следующими участниками цикла разработки. В итоге формируется вложенная многоуровневая система, потенциально содержащая набор взаимоувязанных частных алгоритмов, работающих с той или иной степенью надёжности [\[5,6,7\]](#).

В случае реализации в РТС принципа самообучения, задача становится ещё сложнее, так как алгоритмы превращаются в эвристические, а система дополняется ещё одним уровнем вложенности и, соответственно, увеличивает количество степеней свободы. В части разработки управляющего программного обеспечения (ПО) РТС это могут быть следующие уровни:

- уровень формирования алгоритмов;
- уровень программного описания;
- уровень тестирования;
- уровень обучения системы;
- уровень постановки задач при применении.

Как показывает анализ, в настоящее время ситуация относительно ответственности на каждом этапе разработки робототехнических систем различной сложности складывается весьма неопределённым образом (таблица 1).

Таблица 1 - Существующий подход к распределению ответственности за ошибки РТС

Тип РТС	Ответственность участников процесса				
	заказчик	разработчик технической части	разработчики программного обеспечения	тестировщики	учи (Masl Leane
Дистанционно управляемая	В рамках сформулированных технических требований	За штатный функционал в рамках технического задания на разработку	За штатный функционал в рамках требований ТЗ	В границах проверок, проведённых по утверждённым заказчиком	

		(ТЗ)		методик	
С частичной автономностью	В рамках сформулированных технических требований	За штатный функционал в рамках ТЗ	За штатный функционал в рамках требований ТЗ	В границах проверок, проведённых по утверждённым заказчиком методик	За обучающую часть допуска гра автономности
Автономная	В рамках сформулированных технических требований	За штатный функционал в рамках ТЗ	В настоящее время не определено	В настоящее время не определено	Н не определено

Ситуация осложняется тем, что деятельность части специалистов, функционал которых приведён в таблице 1, вообще не регламентируются существующими правовыми и нормативно-техническими документами и они официально выполняют свои обязанности на должностях с другим функционалом.

Разумеется, подобная ситуация сохраняться в текущем состоянии не может, она мешает развитию РТС, особенно автономных и частично автономных, использующих для управления искусственный интеллект (AI). Исходя из этого, требуется корректировка нормативно-правовой документации, в том числе – в части уточнения ответственности всех участников процесса.

На первый взгляд, как основа для формирования изменений, напрашивается аналогия с человеческим воспитанием: вклад родителей за счёт передачи генетики, ответственность за воспитание. Но, в данном случае, это не совсем корректная аналогия. Аналог генетической наследственности, это, скорее, техническая составляющая РТС. А вот программная часть, с точки зрения разделения на вклад разработчика, инженера по обучению (ML-инженера) и эксплуатанта, продолжающего обучение и закрепление навыков – это, скорее, деление на безусловные и условные рефлексы. Причём вырабатываемых как целенаправленно, при ML, так и относительно ненаправленно, при самообучении (дообучении) алгоритмов в процессе применения РТС.

Приняв такое предположение, можно попытаться сформулировать соответствующее ему перспективное распределение ответственности участников процесса разработки. Дополнительно, учитывая, что основные нерегулируемые угрозы потенциально исходят от автономных РТС, управляемых ИИ, может потребоваться оценка основных параметров ИИ, влияющих на безопасность управляемых им систем. В первую очередь к ним относят «доверенность» (trustworthy) и «предвзятость» (Fair).

В части оценки параметра «доверенность», в соответствии с положением Еврокомиссии «Руководство по этике для надежного ИИ» 2019 года ("Ethics guidelines for trustworthy AI, 2019"), ИИ считается безопасным, если он обладает следующими качествами [\[8,9\]](#):

- проверяемость (verifiability);
- управляемость (controllability);
- стабильность (stability);

- робастность (robustness);
- безопасность (security);
- отказоустойчивость (fault).

В России безопасность систем, управляемых искусственным интеллектом регулируется положениями «Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 года», утверждённой указом Президента РФ от 10 октября 2019 № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации», а также документом «Кодекс этики в сфере искусственного интеллекта». Последний можно считать образцом мягкого регулирования, это, скорее, даже не кодекс ИИ, а набор базовых правил для его разработчиков. В остальном, положения указанных документов во многом похожи на соответствующие документы зарубежных государств.

Во всех указанных документах предусмотрено, что алгоритмы, определяющие доверенность ИИ, закладываются на этапе разработки программного обеспечения (ПО) РТС.

В части непредвзятости ИИ, которая, по сути, коррелируется с некоторыми качествами доверенности, базовым положением считается то, что искусственный интеллект ассоциирован с программами, поэтому считается, что он всегда будет занимать справедливую позицию, свободную от предвзятостей. Как показывает практика, это заблуждение: алгоритмы ИИ «знают» что-либо только потому, что они обучены на данных, которые создаются и отбираются людьми. Поскольку все люди по своей природе субъективны, это неизбежно влияет на результаты работы алгоритмов. Качество алгоритмов ИИ определяется данными, на которых они обучены. Это подтверждает известное эмпирическое правило, касающееся любых компьютерных систем: «Мусор на входе – мусор на выходе». Если система часто переобучается, например, с использованием новых данных из соцсетей, она будет уязвима к предвзятости или злонамеренным влияниям.

Примером последнего может служить попытка создания нейросети Delphi, которая должна была стать неким «этическим компасом». Основная цель разработки Delphi – избавить ее от всевозможных предвзятостей и сделать беспристрастной (дескриптивная моральная оценка запросов). Результат эксперимента получился двояким, разработанная модель столкнулась с высокими оценками от профессионального сообщества, но критикой со стороны обычных пользователей.

В то же время, специалисты рассматривают предвзятость ИИ как одну из основных опасностей в мире, где компьютерные программы могут принимать самостоятельные решения. Значительная часть ведущихся в настоящее время исследований направлена на минимизацию и устранение риска предвзятости. Так появилось целое направление оценки непредвзятости ИИ (AI Alignment). Основная цель этой области — гарантировать, что ИИ будет безопасным, предсказуемым и действовать в соответствии с человеческими ценностями [\[10,11\]](#).

Учитывая вышеизложенное, уровни и содержание ответственности разработчиков ИИ могут быть определены на основе типичного алгоритма процесса разработки, включающего, в части разработки ПО для РТС и программных ботов:

- поисковые и предпроектные исследования;
- описание функциональной и информационной моделей управляемой системы и

процессов её функционирования;

- описание базовых алгоритмов функционирования;
- написание программного кода;
- первичное обучение систем;
- тестирование;
- контроль поведения и дообучение в ходе эксплуатации.

Возможный вариант распределения ответственности при использовании подобной модели разработки, основанный на уточнении существующих подходов с учётом особенностей использования компонентов ИИ, приведен в таблице 2. Отметим, что данные в таблице формировались с преимущественной оценкой безопасности применения ИИ с разными уровнями автономности, от управляемых человеком, до полностью автономных).

Таблица 2 - Предложения по уточнению распределения ответственности

Тип РТС	Участник процесса	Зона ответственности
Дистанционно управляемая	Разработчик технических средств	Исправность системы, включая предохранительные механизмы и каналов управления
	Тестирующий	Проверка выполнения требований технического задания на разработку системы
	Оператор РТС	Выполнение заранее определённых правил и границ применения системы
С частичной автономностью	Разработчик технических средств	Исправность системы, включая предохранительные механизмы и каналов управления
	Алгоритмист	Разработка корректных алгоритмов управления, обеспечивающих надежное выполнение требований технического задания
	Разработчик программного обеспечения	Разработка управляющего ПО, обеспечивающего точную реализацию заданных алгоритмов
	Тестирующий	Проверка выполнения требований технического задания на разработку системы
	Оператор РТС	Выполнение заранее

		определённых правил и границ применения системы
Автономная с жесткими алгоритмами	Разработчик технических средств	Исправность системы, включая предохранительные механизмы и каналов управления
	Алгоритмист	Разработка корректных алгоритмов управления, обеспечивающих надежное выполнение требований технического задания
	Разработчик программного обеспечения	Разработка управляющего ПО, обеспечивающего точную реализацию заданных алгоритмов
	Тестирующий	Проверка выполнения требований технического задания на разработку системы
	Оператор РТС	Постановка задач РТС, укладываемых в заданные в технической документации границы применения
Автономная обучаемая	Разработчик технических средств	Исправность системы, включая предохранительные механизмы и каналов управления, в том числе, при работе в нерасчётных режимах
	Алгоритмист	Разработка корректных алгоритмов управления, обеспечивающих надежное выполнение требований технического задания, с учётом принципов их возможной модификации в ходе обучения
	Разработчик программного обеспечения	Разработка управляющего ПО, обеспечивающего точную реализацию заданных алгоритмов, как базовых, так и настраиваемых
	ML-инженер	Формирование новых алгоритмов (правил) поведения, учитывающих обязательные ограничения на определённые действия
	Тестирующий	Проверка выполнения требований технического задания на разработку

		системы, а также ограничений по безопасности для вновь формируемых алгоритмов поведения
	Оператор РТС	Постановка задач РТС, укладываемых в заданные в технической документации границы применения, формирование дополнительных ограничений для разрабатываемых алгоритмов применения
Автономная самообучаемая	Разработчик технических средств	Исправность системы, включая предохранительные механизмы и каналов управления, в том числе, при работе в нерасчётных режимах
	Алгоритмист	Разработка корректных алгоритмов управления, обеспечивающих надежное выполнение требований технического задания, с учётом принципов их модификации в ходе обучения
	Разработчик программного обеспечения	Разработка управляющего ПО, обеспечивающего точную реализацию заданных базовых алгоритмов с учётом возможных границ их модификации
	ML-инженер	Формирование начальных алгоритмов поведения и алгоритмов самообучения, учитывающих формирование обязательных ограничений по безопасности
	Тестирующий	Проверка выполнения требований технического задания на разработку системы, а также ограничений по безопасности для вновь формируемых алгоритмов поведения
	Эксплуатант, оператор (постановщик задач) РТС	Постановка задач РТС, укладываемых в заданные в технической документации границы применения, формирование дополнительных ограничений

		по результатам выполнения задач
	Регуляторы нормативной сферы ИИ	Разработка нормативов и правил поведения РТС, управляемых ИИ, регламентов разработки

Приняв содержание таблицы 2 за вариант распределения ответственности всех участников процесса, можно с некоторой точностью определить ответственных за критичные ошибки РТС, а также сформулировать меры по их предотвращению [\[12,13\]](#).

Детализация предложений, описанных в таблице 2, может быть осуществлена выполнением следующего перечня мер по обеспечению решения проблемы безопасности РТС, в том числе, управляемых ИИ:

- перечень участников процесса необходимо дополнить специалистами, направленными занимающимися безопасностью и непредвзятостью ИИ: так называемым AI Alignment, работающими на стыке областей алгоритмизации и машинного обучения. Отметим, что у крупнейших разработчиков современных систем ИИ в структуру уже включены собственные отделы, занимающиеся AI Alignment: в OpenAI, это Superalignment Team, в Anthropic, команда AI Safety and Alignment, в DeepMind, это AI Safety and Alignment Team, а в Google Research – AI Safety and Alignment Organization;
- обеспечить групповой подход в разработке алгоритмов AI и ML, обеспечивающий, при независимой организации работ, снижение фактора субъективности;
- уточнить подходы к тестированию ИИ, расширив их рамки и полноту;
- обеспечить создание «внешних», в том числе программно-механических ограничителей на деятельность потенциально опасных систем, управляемых ИИ.

Данные дополнения не противоречат предложениям, изложенным в таблице 2, а дополняют их. Для практической реализации указанных предложений потребуются корректировка нормативно-технической документации, регламентирующей данную предметную область [\[14\]](#).

3 Некоторые выводы

Таким образом, анализ сформулированной в статье проблемы распределения ответственности за возникновение критичных ошибок в ходе эксплуатации РТС показывает, что при существующем состоянии нормативно-технической и правовой документации, эта проблема решена быть не может. В то же время, учитывая рост критичных ситуаций, возникающих при применении РТС [\[15,16\]](#), сформулированная проблема является своевременной и актуальной. В рамках разрешения данной ситуации, используемые в настоящее время принципы обучения AI и контроля его «доверенности», на выполнении которых основано содержание современной нормативно-технической документации, предлагается дополнить понятием «воспитание», формируемым на основе синтезированных в статье принципов разделения ответственности, а перечень участников процесса дополнить специалистами по безопасности ИИ. В более отдалённой перспективе вполне вероятно появление специалистов по раннему выявлению и исправлению ошибок поведения ИИ, своего рода «роботопсихологов», с формированием соответствующей отрасли науки, например «психология искусственного интеллекта». Впрочем, это отдалённая перспектива, а в настоящее время необходимо оперативно

решить вопрос именно с ответственной организацией процесса первичного и последующего обучения ИИ, с внесением изменений в нормативную и правовую документацию.

Предложенный в статье вариант уточнённого распределения ответственности участников процесса разработки может служить обобщённой базой для решения проблемы безопасности ИИ и управляемых им РТС.

Заключение

В существующей нормативно-технической документации, определяющей разработку ИИ, сформирован в том или ином виде перечень специалистов, участвующих в разработке и применении компонентов ИИ и задекларированы в общем виде принципы обеспечения безопасности ИИ, которые рекомендованы для соблюдения.

В статье впервые сформулирована проблема ответственности за поведение РТС, управляемых ИИ, а также предложены общие принципы разделения ответственности за критичные ошибки ИИ. В качестве дальнейшего направления исследований можно определить дальнейшую детализацию границ ответственности и их закрепление в нормативно-технической документации.

Библиография

1. Чиров Д.С., Новак К.В. Перспективные направления развития робототехнических комплексов специального назначения // Вопросы безопасности. 2018. № 2. С. 50-59. DOI: 10.25136/2409-7543.2018.2.22737 URL: https://e-notabene.ru/nb/article_22737.html
2. John W. Tammen NATO Basic Concept of Warfare: Looking Ahead – The Changing Nature of Warfare // NATO Review. 2021 URL: <https://www.nato.int/docu/review/ru/articles/2021/07/09/bazovaya-kontseptsiya-boevyh-dejstvij-nato-v-perspektive-menyayushchisya-harakter-vojny/index.html>.
3. Хрипунов С.П., Чиров Д.С., Благодарящев И.В. Военная робототехника: современные тренды и векторы развития // Тренды и управление. 2015. № 4. С. 410-422. URL: https://e-notabene.ru/tumag/article_67141.html
4. Pflimlin É Drones et robots: La guerre des futurs. France: Levallois-Perret. 2017.
5. Roosevelt, Ann. Army Directs Cuts, Adjustments, To FCS. Defense Daily. 2017.
6. Hamilton T How AI will Alter Multi-Domain Warfare // Future Combat Air & Space Capabilities Summit. 2023. No.4. URL: <https://www.aerosociety.com/events-calendar/raes-future-combat-air-and-space-capabilities-summit>.
7. Tikhanychev O.V. Exploring Morality and Politeness in the Context of Robotic Systems: A Conceptual Interpretation // BIO Web of Conferences. 2024, No.138. 03020. doi.org/10.1051/bioconf/202413803020.
8. Beard J. Autonomous weapons and human responsibilities // Georgetown Journal of International Law. 2014. No. 45, pp. 617–681.
9. Schuller A. At the Crossroads of Control: The Intersection of Artificial Intelligence in Autonomous Weapon Systems with International Humanitarian Law // Harvard National Security Journal. 2017. No. 8. pp. 379-425.
10. Ухоботов В.И., Измestьев И.В. Об одной задаче преследования при наличии сопротивления среды // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Математика. Механика. Физика». 2016. № 8(2). С. 62-66. doi.org/10.14529/mmph160208.
11. Tikhanychev O.V. Self-Check System of Heuristic Algorithms as a "New Moral" of Intelligent Systems // AIP Conference Proceedings. 2023. No. 2700. 040028 <https://doi.org/10.1063/5.0124956>.

12. Ćwiąkała P. Testing Procedure of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) Trajectory in Automatic Missions // Applied Science. 2019. No. 9. pp. 3488. doi.org/10.3390/app9173488.
13. Johnson D Computer Systems: Moral entities but not moral agents // Ethics and Information Technology. 2016. No. 8. pp. 195-204. doi.org/10.1007/s10676-006-9111.
14. Дубанов А.А. Моделирование траектории преследователя в пространстве при методе параллельного сближения // Программные системы и вычислительные методы. 2021. № 2. С. 1-10. doi.org/10.7256/2454-0714.2021.2.36014.
15. Tikhanychev O.V. Development of situational algorithms for the use of robotic systems // E3S Web of Conferences. 2024. No. 531. 02004. doi.org/10.1051/e3sconf/202453102004.
16. Курденкова Е.О., Черепнина М.С., Чистякова А.С., Архипенко К.В. Влияние трансформаций на успешность состязательных атак для классификаторов изображений Clipped BagNet и ResNet. Труды ИСП РАН, том 34. Вып. 6. 2022. С. 101-116. doi.org/10.15514/ISPRAS-2022-34(6)-7.

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Рецензируемая статья посвящена исследованию вопросов разделения ответственности за ошибки эксплуатации робототехнических систем.

Методология выполненной работы базируется обобщении современных публикаций по изучаемой теме и практического опыта эксплуатации робототехнических систем, управляемых искусственным интеллектом.

Актуальность работы определяется тем, в процессе эксплуатации робототехнических систем (РТС) возможны сбои, сопровождающиеся нанесением вреда жизни и здоровью людей, причинением материального ущерба, а существующий подход к распределению ответственности подход не предусматривает, что в ситуации применения РТС может проводиться самостоятельная модификация некоторых компонентов системы в ходе эксплуатации с использованием алгоритмов управления на основе обучения и самообучения.

Научная новизна рецензируемого исследования состоит в предложенных авторами общих принципах разделения ответственности за критичные ошибки при эксплуатации РТС с привлечением искусственного интеллекта. Предложенный в статье вариант распределения ответственности участников процесса разработки РТС может служить обобщённой базой для решения проблемы безопасности применения систем искусственного интеллекта.

Структурно в статье выделены следующие разделы: «Введение», «Анализ проблемы разделения ответственности», «Варианты решения проблемы», «Некоторые выводы», «Заключение» и «Библиография».

В статье отражена существующая система разделения ответственности между разработчиками и эксплуатантами сложных технических систем. Сказано, что ошибки эксплуатации могут порождаться двумя основными группами причин: во-первых, поломками в электромеханической части, служащей, преимущественно, в качестве исполнительных механизмов РТС; во-вторых, сбоями и ошибками алгоритмов программного обеспечения, обеспечивающего управление РСТ. Авторы справедливо считают, что несмотря на внешнее впечатление самостоятельной работы алгоритмов автономных РТС, как технических, так и программных «ботов», на самом деле за любым действием алгоритма стоит человек. Поскольку в разработке и уточнении алгоритмов автономных РТС участвует целая группа специалистов, каждый из которых теоретически

может совершать ошибки разного рода, то распределить ответственность бывает непросто, а при реализации принципа самообучения эта задача становится ещё сложнее. В публикации содержатся предложения по уточнению распределения ответственности между участниками процесса: разработчиками технических средств, тестировщиками, операторами РТС, разработчиками алгоритмов и программного обеспечения, ML-инженерами, эксплуатантами, регуляторами нормативной сферы применения искусственного интеллекта с указанием зон ответственности каждого участника с учетом типа РТС. Используемые в настоящее время принципы обучения искусственного интеллекта и контроля его «доверенности» предлагается дополнить понятием «воспитание», формируемым на основе синтезированных в статье принципов разделения ответственности, а перечень участников процесса дополнить специалистами по безопасности искусственного интеллекта.

Библиографический список включает 16 источников – научные публикации по рассматриваемой теме отечественных и зарубежных авторов на русском и иностранных языках. В тексте публикации имеются адресные отсылки к списку литературы, подтверждающие наличие апелляции к оппонентам.

Рецензируемый материал соответствует направлению журнала «Программные системы и вычислительные методы», отражает результаты проведенного авторского исследования, содержит весьма своевременные разработки, может вызвать интерес у читателей, рекомендуется к опубликованию.

Программные системы и вычислительные методы

Правильная ссылка на статью:

Томилова С.Д., Шибяев Д.О. Автоматизация развертывания приложений Windows средствами GPO Альт Домена // Программные системы и вычислительные методы. 2025. № 3. DOI: 10.7256/2454-0714.2025.3.72992
EDN: OOLFBN URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=72992

Автоматизация развертывания приложений Windows средствами GPO Альт Домена

Томилова Софья Дмитриевна

ORCID: 0009-0007-3633-1564

бакалавр; кафедра безопасности информационных технологий; Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина

119296, Россия, г. Москва, Ленинский пр-т, 65, корп. 1

✉ sofyatomilova2004@mail.ru



Шибяев Дмитрий Олегович

бакалавр; кафедра безопасности информационных технологий; Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина

119296, Россия, г. Москва, ул. Ленинский, 65, корп. 1

✉ dima.sh1baev@yandex.ru



[Статья из рубрики "Автоматизированные системы управления технологическими процессами"](#)

DOI:

10.7256/2454-0714.2025.3.72992

EDN:

OOLFBN

Дата направления статьи в редакцию:

11-01-2025

Аннотация: Предметом исследования является процесс автоматизации развертывания приложений Windows в смешанных IT-инфраструктурах, включающих системы Alt Linux и Windows. Особое внимание уделено изучению возможностей Alt Домен для применения групповых политик (GPO) с целью централизованного управления установкой и конфигурацией приложений, таких как Yandex Browser и Yandex Telemost. В работе анализируется эффективность использования GPO в Alt Домен для обеспечения стабильности сети, удобства администрирования и сокращения времени настройки.

Автор подробно рассматривает интеграцию GPO с протоколом Samba, что позволяет достичь совместимости между Linux и Windows. Рассматриваемый подход может быть полезен организациям с гибридной IT-инфраструктурой. Данная тема актуальна в контексте растущей потребности в автоматизации процессов управления, что делает её востребованной как для коммерческих, так и для образовательных учреждений.

Методология включает настройку Alt Домен для работы с GPO, тестирование автоматизированного развертывания приложений Windows, а также анализ совместимости и стабильности в смешанной среде. Научная новизна исследования заключается в адаптации и применении инструментов Alt Домен для централизованного управления процессами развертывания приложений Windows с использованием групповых политик (GPO). Впервые продемонстрирована возможность успешного автоматизированного развертывания таких приложений, как Yandex Browser и Yandex Telemost, в смешанных IT-средах, включающих Alt Linux и Windows. Полученные результаты подтвердили гипотезы о совместимости GPO с Alt Linux через интеграцию с протоколом Samba, что позволяет не только унифицировать процессы настройки приложений, но и повысить стабильность и надёжность сетевой инфраструктуры. Применение данного подхода снижает нагрузку на администраторов, оптимизирует временные затраты и обеспечивает гибкость в управлении IT-системами. Основные выводы подчеркивают перспективность использования Alt Домен в организациях с гибридной инфраструктурой. В дальнейшем планируется расширить исследование, включив анализ масштабируемости системы, изучение совместимости с новыми версиями Windows, а также внедрение дополнительных приложений и инструментов автоматизации. Результаты работы представляют ценность для организаций, стремящихся к эффективной интеграции и автоматизации управления смешанными IT-инфраструктурами.

Ключевые слова:

Alt Домен, групповые политики, GPO, автоматизация, Windows, Alt Linux, Samba, Яндекс Браузер, Яндекс Телемост, смешанные IT-среды

Введение. Современные IT-системы требуют надежных инструментов для автоматизации управления и развертывания приложений. Групповые политики (GPO) широко используются в Windows-инфраструктурах для централизованного управления настройками и установкой программного обеспечения. Однако их применение в смешанных средах, включающих Alt Linux, остается недостаточно изученным, что подчеркивает актуальность исследования. В последние годы активизировались исследования в области автоматизации управления и развертывания приложений. Система Alt Домен, основанная на использовании Samba, предоставляет удобные инструменты для настройки доменов и управления групповыми политиками. Практическая часть исследования базируется на материалах учебного пособия [\[1\]](#). Среди других работ можно отметить исследования Microsoft (2020), демонстрирующие эффективность GPO в Windows, и разработки BaseALT (2023), которые адаптируют GPO для Alt Linux [\[3\]\[2\]](#). Несмотря на эти достижения, вопросы совместимости Alt Домен с Windows требуют дальнейшего изучения.

Объект исследования: инфраструктура, использующая Alt Домен и Windows.

Предмет исследования: методы настройки объектов групповых политик (GPO) для

развертывания приложений Windows (включая Yandex Browser и Yandex Telemost) с использованием возможностей системы Alt Домен.

Цель исследования: разработка методов автоматизации развертывания приложений Windows с использованием GPO в Alt Домен для упрощения управления смешанными IT-средами.

Литературный обзор. Групповые политики (GPO) представляют собой инструмент централизованного управления настройками пользователей и устройств в доменных сетях Windows. Они позволяют автоматизировать процессы, такие как установка программного обеспечения, управление правами доступа и настройка системных параметров, что повышает эффективность администрирования.

Alt Домен, основанный на Alt Linux и протоколе Samba, предоставляет возможности для создания доменов и централизованного управления учетными записями, ресурсами и настройками в смешанных IT-средах, включающих Linux и Windows [\[4\]](#).

Программное обеспечение Samba, используемое в Alt Домен, реализует сетевой протокол для доступа к файлам и другим ресурсам SMB (Server Message Block) или CIFS (Common Internet File System), что обеспечивает взаимодействие систем Linux с ресурсами Windows.

В рамках исследования разработан новый подход к интеграции Alt Linux и Windows для обеспечения совместимости в смешанных IT-средах, что позволило повысить уровень автоматизации развертывания и настройки приложений. Основное внимание уделено настройке объектов групповых политик (GPO) для автоматизированного развертывания приложений Windows, включая Yandex Browser и Yandex Telemost, в инфраструктуре Alt Домен.

Научная новизна заключается в разработке подходов к централизованной настройке и управлению политиками, обеспечивающих повышение стабильности и отказоустойчивости инфраструктуры, снижение трудозатрат и упрощение взаимодействия между Windows- и Linux-сегментами сети [\[2\]\[4\]](#). Практическая значимость работы состоит в демонстрации решений, которые минимизируют проблемы совместимости и адаптируют инструменты GPO для среды Alt Linux [\[1\]](#).

Важной частью работы является развертывание приложений, таких как Yandex Browser и Yandex Telemost, которые представляют собой инструменты для веб-серфинга и видеоконференций. Эти приложения могут централизованно развёртываться и управляться через GPO [\[11\]\[15\]](#).

В исследованиях Microsoft (2020) подчёркивается высокая эффективность использования GPO в среде Active Directory [\[3\]](#). Эти работы демонстрируют, что групповые политики упрощают управление настройками и приложениями, снижая административные затраты и улучшая стабильность систем. Исследования BaseALT (2023) показали адаптацию GPO для работы в Alt Домен, что позволяет интегрировать Linux и Windows [\[2\]](#). Однако вопросы стабильности работы в смешанных средах и совместимости с различными версиями Windows остаются недостаточно изученными [\[18\]](#).

Учебное пособие предлагает пошаговое руководство по настройке Alt Домен и применению групповых политик [\[1\]](#). Это пособие стало основой для разработки практических сценариев исследования. Они отмечают, что централизованное

управление через GPO снижает риски конфликтов настроек и упрощает управление смешанными инфраструктурами.

На основе проведённого анализа были сформулированы следующие гипотезы исследования. Во-первых, использование GPO в Alt Домен позволяет автоматизировать процесс развертывания приложений, таких как Yandex Browser и Yandex Telemost. Во-вторых, интеграция Alt Linux с Windows через Samba обеспечивает совместимость, необходимую для работы в смешанных ИТ-средах. В-третьих, Alt Домен создаёт гибкую и централизованную инфраструктуру, способствующую эффективному управлению сетями организаций.

Развёртывание Alt Домен

Практическая часть исследования должна начинаться с настройки инфраструктуры сети, включающей в себя маршрутизатор, сервер и клиентские устройства. На рисунке 1 представлена топология, состоящая из маршрутизатора (RTR) на базе Alt Server 10.2, сервера (SRV) на базе Alt Workstation 10.2, клиента ALT_CLI (клиентское устройство с интерфейсом командной строки) на Alt Workstation 10.2 и клиента WIN_CLI (клиентское устройство под управлением Windows) на Windows 11. Каждое устройство имеет статически назначенные IP-адреса (Internet Protocol), маску подсети, а также параметры шлюза и DNS-сервера (Domain Name System). Это позволяет обеспечить стабильное взаимодействие устройств в сети и корректную маршрутизацию (Таблица 1) [\[2\]\[4\]](#).

Таблица 1 – Оборудование и ПО

Устройство	Операционная система	IP адрес/Маска	Шлюз	DNS
RTR	Alt Server 10.2	10.0.0.1/24	-	-
SRV	Alt Workstation 10.2	10.0.0.2/24	10.0.0.1	10.0.0.2
ALT_CLI	Alt Workstation 10.2	10.0.0.3/24	10.0.0.1	10.0.0.2
WIN_CLI	Windows 11	10.0.0.3/24	10.0.0.1	10.0.0.2

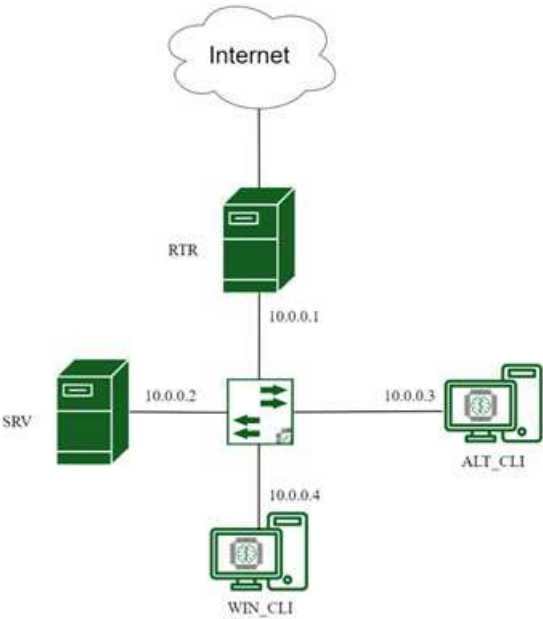


Рисунок 1 – Топология сети

Настройка групповых политик

Для успешного применения групповых политик необходимо интегрировать рабочие станции ALT_CLI и WIN_CLI в домен `au.team`. Этот процесс включает авторизацию устройств в доменной инфраструктуре, что позволяет централизованно управлять их настройками и обеспечивать их синхронизацию с доменными политиками [3]. После успешного добавления рабочих станций в домен пользователю отображается уведомление о корректной авторизации устройства.

Для создания функциональной доменной среды важно правильно настроить групповые политики, обеспечивающие безопасность и управляемость. Первый шаг — установка утилиты ADMC (Active Directory Management Console) для настройки политик, выполняемая командой `apt-get install admc -y` (Рисунок 2). Утилита ADMC позволяет создавать и управлять объектами групповых политик (GPO) в доменной инфраструктуре Alt Домен [1][2].

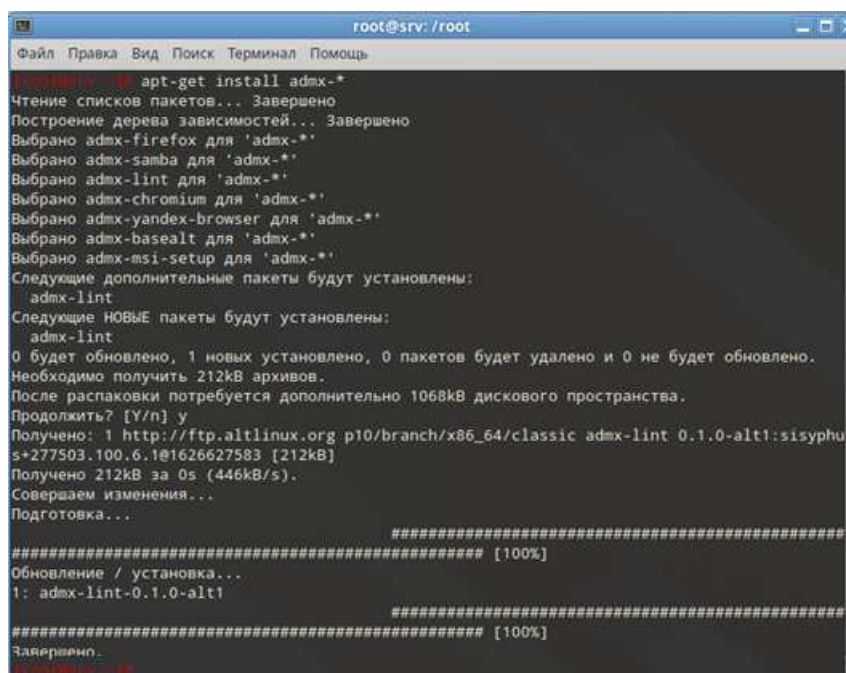
```

root@srv:~# apt-get install admc -y
Чтение списков пакетов... Завершено
Построение дерева зависимостей... Завершено
Последняя версия admc уже установлена.
0 будет обновлено, 0 новых установлено, 0 пакетов будет удалено и 0 не будет обновлено.
root@srv:~#

```

Рисунок 2 – Установка утилиты ADMC для настройки групповых политик

Затем, как показано на рисунке 3, устанавливаются компоненты, включая шаблоны групповых политик, с помощью команды `apt-get install admx-* -y`, и выполняется настройка через `admx-msi-setup` (Рисунок 4) [1][2].



```

root@srv:~# apt-get install admx-*
Чтение списков пакетов... Завершено
Построение дерева зависимостей... Завершено
Выбрано admx-firefox для 'admx-*'
Выбрано admx-samba для 'admx-*'
Выбрано admx-lint для 'admx-*'
Выбрано admx-chromium для 'admx-*'
Выбрано admx-yandex-browser для 'admx-*'
Выбрано admx-basealt для 'admx-*'
Выбрано admx-msi-setup для 'admx-*'
Следующие дополнительные пакеты будут установлены:
  admx-lint
Следующие НОВЫЕ пакеты будут установлены:
  admx-lint
0 будет обновлено, 1 новых установлено, 0 пакетов будет удалено и 0 не будет обновлено.
Необходимо получить 212kB архивов.
После распаковки потребуется дополнительно 1068kB дискового пространства.
Продолжить? [Y/n] y
Получено: 1 http://ftp.altlinux.org p10/branch/x86_64/classic admx-lint 0.1.0-alt1:sisyphus+277503.100.6.1@1626627583 [212kB]
Получено 212kB за 0s (446kB/s).
Совершаем изменения...
Подготовка...
##### [100%]
Обновление / установка...
1: admx-lint-0.1.0-alt1
##### [100%]
Завершено.
root@srv:~#

```

Рисунок 3 – Установка пакетов администраторских шаблонов ADMX на сервере

```

root@srv:~# admx-msi-setup

```

Рисунок 4 – Запуск конфигурации ADMX с помощью команды `admx-msi-setup`

Для настройки клиентских конфигураций на машине ALT_CLI необходимо установить утилиту управления групповыми политиками GPUИ (Group Policy User Interface) (Рисунок 5). Эта утилита обеспечивает возможность редактирования параметров клиентских

машин в доменной среде [3]. Установка выполняется с помощью команды: `apt-get install gpiu -y`.

```
root@kali:~# apt-get install gpiu -y
Чтение списков пакетов... Завершено
Построение дерева зависимостей... Завершено
Последняя версия gpiu уже установлена.
0 будет обновлено, 0 новых установлено, 0 пакетов будет удалено и 0 не будет обновлено.
root@kali:~#
```

Рисунок 5 – Установка утилиты GPIU для управления групповыми политиками

Для обновления политик требуется установка инструментов `grpupdate` и `local-policy` командой `apt-get install grpupdate local-policy -y` (Рисунок 6). После установки активируется обновление политик с помощью `grpupdate-setup enable workstation`.

```
root@kali:~# apt-get install grpupdate local-policy -y
Чтение списков пакетов... Завершено
Построение дерева зависимостей... Завершено
Последняя версия grpupdate уже установлена.
Последняя версия local-policy уже установлена.
0 будет обновлено, 0 новых установлено, 0 пакетов будет удалено и 0 не будет обновлено.
root@kali:~#
```

Рисунок 6 – Установка инструментов `grpupdate` и `local-policy` для корректного обновления групповых политик

Для включения работы групповых политик и активации шаблона локальной политики (local policy) используется команда `grpupdate-setup enable` (Рисунок 7). Это действие позволяет настроить `workstation` на применение локальных групповых политик, необходимых для корректного управления конфигурацией клиентской машины в доменной среде.

```
root@kali:~# grpupdate-setup enable
workstation
```

Рисунок 7 – Активация работы групповых политик с использованием команды `grpupdate-setup enable`

Работа с ADMS требует предварительной аутентификации в домене с помощью команды `kinit administrator`, позволяющей получить ключ Kerberos (протокол аутентификации, используемый для безопасного входа в домен). После успешного ввода пароля ADMS запускается командой `adms`. В интерфейсе настраивается Default Domain Policy, например, добавляется установка браузера Yandex и универсальный указатель ресурсов или же URL (Uniform Resource Locator) его домашней страницы через пункт "Изменить" (Рисунки 8, 9).

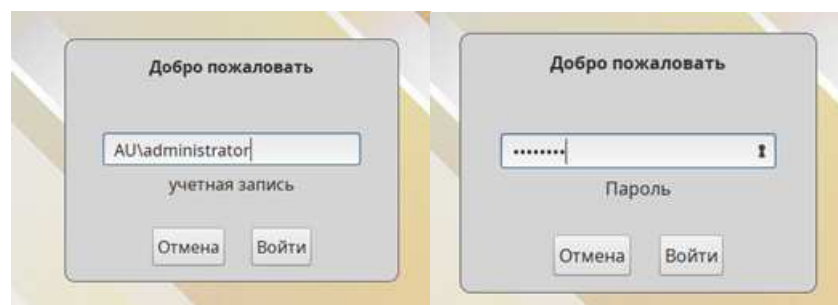


Рисунок 8 – Вход в систему под учетной записью администратора домена

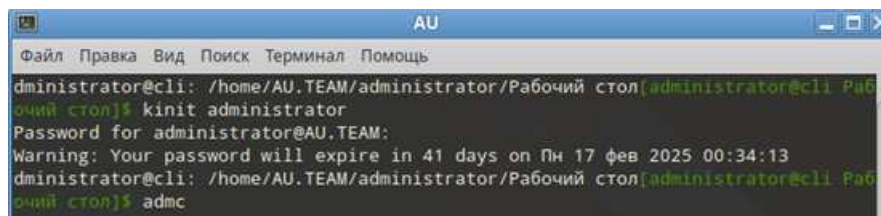


Рисунок 9 – Аутентификация администратора в домене и запуск ADMC

Для управления пакетами политик на клиентской машине ALT_CLI активируются экспериментальные функции групповых политик: Компьютер → Административные шаблоны → Система ALT → Групповые политики → Экспериментальные групповые политики. Затем настраивается установка пакетов через Компьютер → Административные шаблоны → Система ALT → Управление пакетами → Установка пакетов (Рисунок 10), где добавляются пакеты `admx-yandex-browser` и `admx-yandex-telemost`, автоматически устанавливаемые при применении политики (Рисунок 11) [\[3\]\[5\]](#).

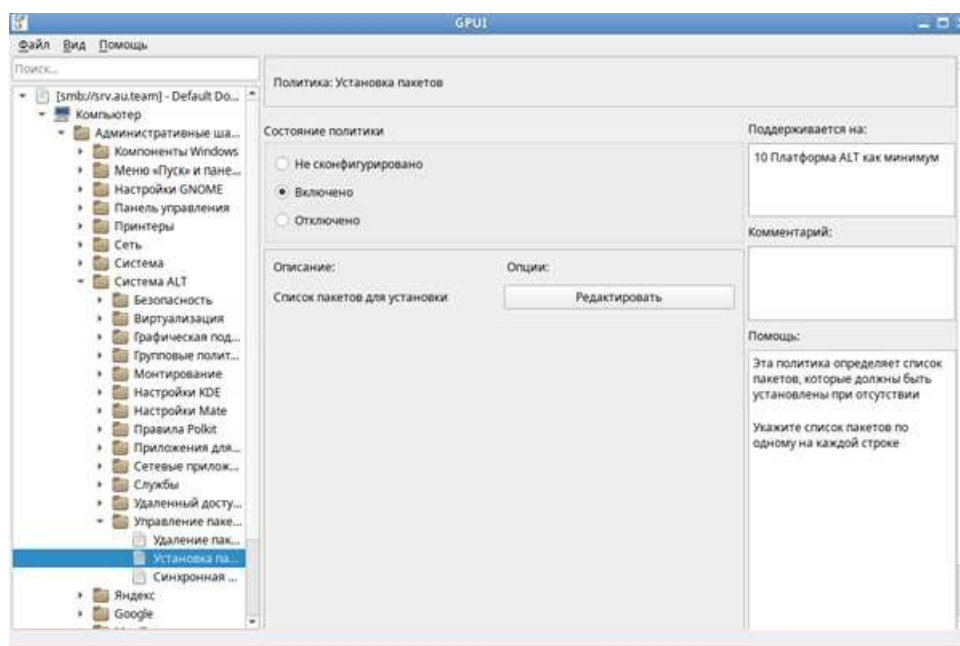


Рисунок 10 – Настройка групповой политики для установки пакетов в GPUI

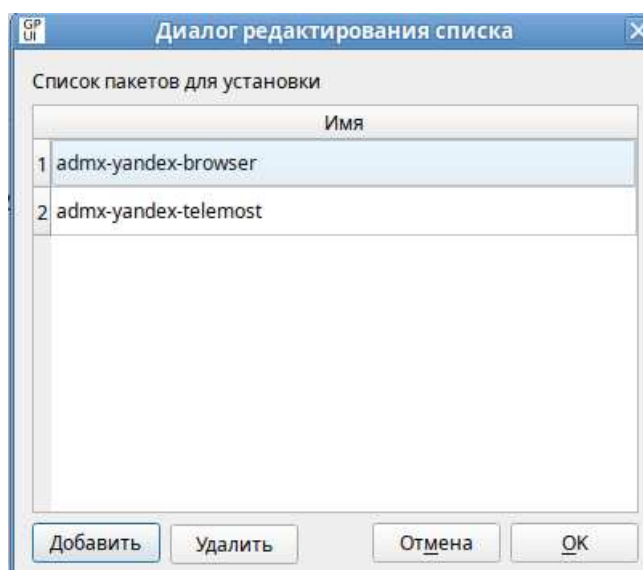


Рисунок 11 – Редактирование групповой политики

Настройка домашней страницы для приложений Яндекс.Браузер и Яндекс Телемост выполняется через путь: Компьютер → Административные шаблоны → Яндекс → Яндекс Браузер (или Яндекс Телемост) → Поведение → Задать URL домашней страницы (Рисунок 12) [1][2]. В поле URL указывается адрес: au-team.ru (Рисунок 13). После внесения изменений для применения настроек используется команда `groupdate` [5].

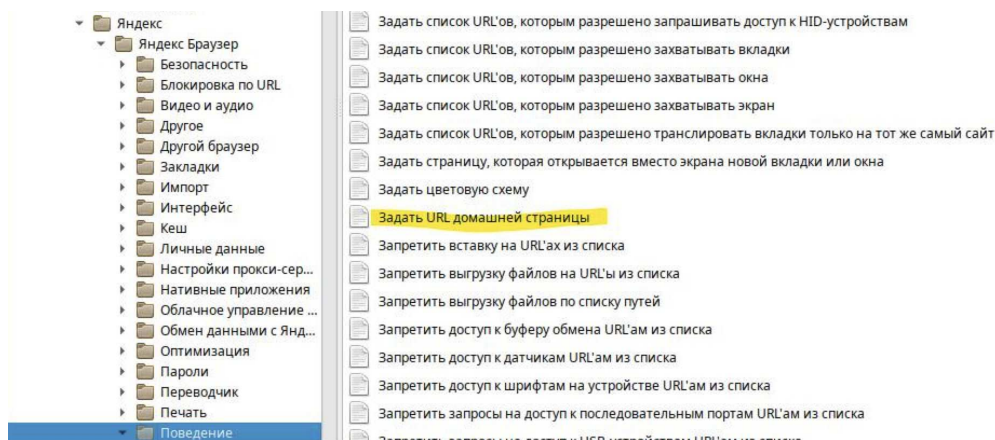


Рисунок 12 – Настройка параметра «Задать URL домашней страницы» для Yandex Browser, Yandex Telemost

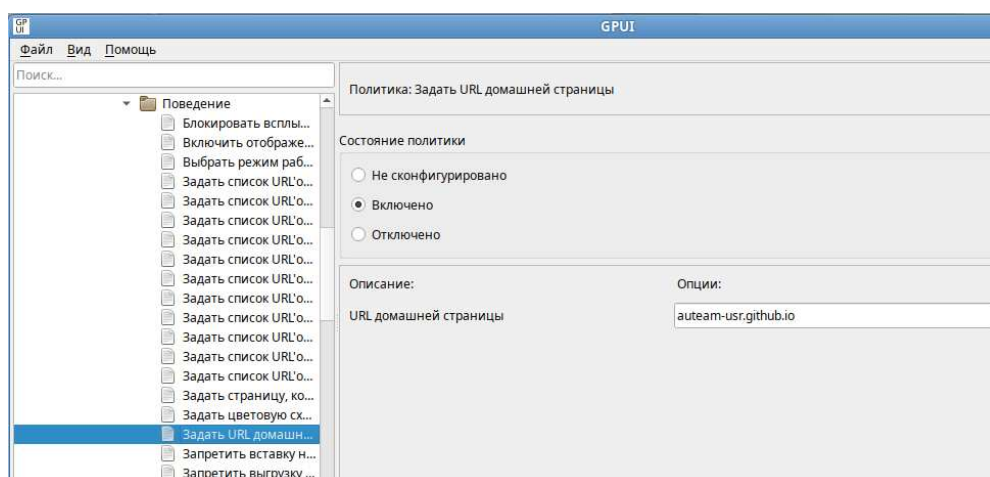


Рисунок 13 – Настройка параметра «Задать URL домашней страницы» в групповой политике

На завершающем этапе выполняется проверка корректности применённых настроек. После перезагрузки клиентской машины ALT_CLI в меню приложений должны отображаться установленные программы: Yandex Browser и Yandex.Telemost [15]. Аналогичные действия выполняются для клиентской машины WIN_CLI (Рисунок 14).

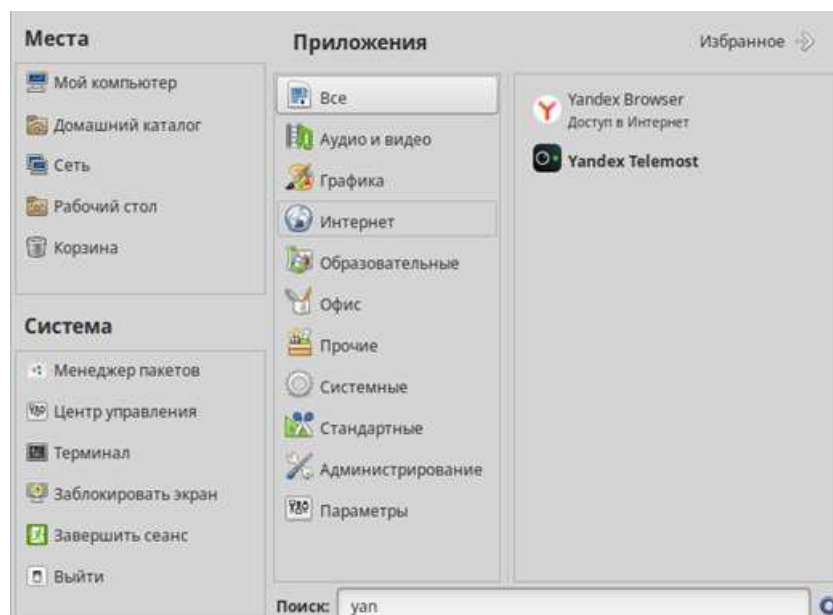


Рисунок 14 – Проверка отображения установленных приложений Yandex Browser и Yandex Telemost

Первым шагом, для проверки работы настроек, запускается приложение Яндекс Браузер на клиентской машине с операционной системой ALT_CLI (Рисунок 15). После успешного старта открывается начальная страница, которая демонстрирует корректность работы браузера и отображение домашнего URL. Аналогичная проверка выполняется на клиентской машине WIN_CLI под управлением Windows 11.

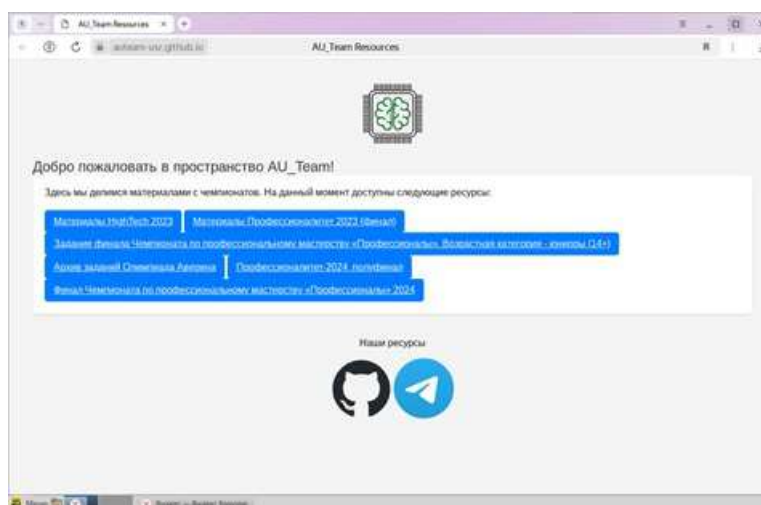


Рисунок 15 – Проверка домашней страницы Yandex.Browser на ALT_CLI

Следующим шагом открывается приложение Яндекс.Телемост на ALT_CLI. На экране отображается начальный интерфейс приложения с возможностью создать видеовстречу, подключиться к существующей или запланировать мероприятие. Это подтверждает успешное развёртывание приложения через GPO [\[31\]\[8\]](#).

Теперь на клиентской машине WIN_CLI выполняется проверка корректности настроек домена. После перезагрузки устройства система подтверждает успешное добавление машины в домен [\[9\]](#).

Далее пользователь вводит учётные данные администратора для авторизации в домене.

На рисунке 16 представлена проверка корректности открытия заданной домашней

страницы в приложении Yandex Browser на клиентской машине WIN_CLI. После настройки групповых политик и подключения к домену, приложение успешно открывает URL-адрес `au-team.ru`, подтверждая корректность конфигурации и успешную работу заданных параметров.

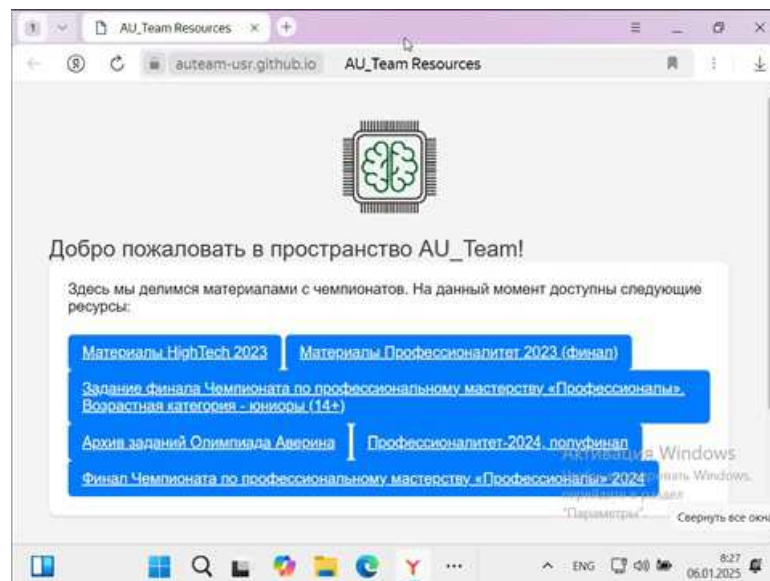


Рисунок 16 – Проверка домашней страницы Yandex Browser на WIN_CLI

Далее проверяется работа приложения Яндекс.Телемост на WIN_CLI. После запуска на экране отображается интерфейс приложения, аналогичный версии для ALT_CLI, что подтверждает успешность развёртывания.

Заключение

В рамках проведённого исследования разработан и реализован подход к настройке инфраструктуры Alt Домен для автоматизации развёртывания приложений Windows с использованием групповых политик (GPO). Особое внимание уделено интеграции Alt Linux и Windows для обеспечения совместимости в смешанных IT-средах. В работе предложены методы настройки объектов GPO, обеспечивающие централизованное управление установкой и конфигурацией приложений Yandex Browser и Yandex Telemost.

Результаты исследования показали, что использование GPO в Alt Домен позволяет эффективно автоматизировать процессы развёртывания приложений. Разработанные подходы повышают стабильность и отказоустойчивость сети, снижают трудозатраты на администрирование и обеспечивают взаимодействие между Windows- и Linux-сегментами инфраструктуры. Интеграция через Samba продемонстрировала высокий уровень совместимости, что делает Alt Домен гибким инструментом для управления настройками и ресурсами сети.

Направления дальнейшего исследования включают изучение масштабируемости и производительности Alt Домен в крупных сетях, адаптацию системы для работы с новыми версиями Windows, а также внедрение дополнительных инструментов автоматизации. Полученные результаты могут быть использованы для развития гибких и эффективных решений централизованного управления смешанными IT-средами, что особенно актуально для организаций, стремящихся к оптимизации своих IT-инфраструктур.

Библиография

1. Уймин, А. Г. Демонстрационный экзамен базового уровня. Сетевое и системное

- администрирование : Практикум. Учебное пособие для вузов / А. Г. Уймин. – Санкт-Петербург : Издательство "Лань", 2024. – 116 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-507-48647-2. – EDN BZJRIQ.
2. BaseALT. Интеграция групповых политик в Alt Linux. – 2023. – [Электронный ресурс]. URL: <https://basealt.ru> (дата обращения: 03.01.2025).
3. Microsoft Corporation. Документация по групповой политике GPO. – 2020. – [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.microsoft.com> (дата обращения: 03.01.2025).
4. Samba. Официальная документация. – [Электронный ресурс]. URL: <https://www.samba.org> (дата обращения: 04.01.2025).
5. Alt Linux. Руководство пользователя Alt Домен. – [Электронный ресурс]. URL: <https://altlinux.org> (дата обращения: 04.01.2025).
6. Грубер, Дж. П., & Келлер, М. Развертывание Windows: методы и практика. // International Journal of IT Solutions, 2021. – Т. 10, №4. – С. 121-130.
7. Смит, А. Б., & Чжао, Л. Исследование кросс-платформенных групповых политик: тематическое исследование // Journal of System Administration, 2019. – Т. 35, № 2. – С. 45-52.
8. Джонсон, К. Р., & Миллер, Д. Л. Роль Samba в смешанных IT-средах // Network Engineering Review, 2022. – Т. 14, № 1. – С. 78-85.
9. Чжао, Л., & Нгуен, Т. К. Инновации в управлении GPO для гибридных систем // TechSystems Journal, 2020. – Т. 23, № 3. – С. 101-110.
10. Alt Linux. Расширенные функции управления доменами Alt. – 2021. – [Электронный ресурс]. URL: <https://altlinux.org/features> (дата обращения: 04.01.2025).
11. Яндекс. Внедрение приложений Яндекс в корпоративные IT-системы. – 2023. – [Электронный ресурс]. URL: <https://yandex.com/solutions> (дата обращения: 04.01.2025).
12. Ли, М., & Браун, Т. Автоматизированное развертывание программного обеспечения с Alt Linux // Journal of Open Source Solutions, 2022. – Т. 17, № 5. – С. 215-224.
13. Петерсон, К. У., & Картер, Дж. Т. Проблемы совместимости Alt Linux и Windows // Linux Journal, 2020. – Т. 15, № 3. – С. 123-130.
14. Samba Project. Интеграция Samba для кросс-платформенных IT-решений. – 2022. – [Электронный ресурс]. URL: <https://www.samba.org/crossplatform> (дата обращения: 04.01.2025).
15. Яндекс. Яндекс Телемост: Руководство по развертыванию для корпоративных пользователей. – 2024. – [Электронный ресурс]. URL: <https://yandex.com/telemost> (дата обращения: 04.01.2025).
16. Грин, Х., & Блэк, П. Оптимизация IT-инфраструктуры с гибридными групповыми политиками // International Journal of Systems and Policies, 2021. – Т. 19, № 2. – С. 87-94.
17. BaseALT. Последние разработки в управлении доменами Alt Linux. – 2022. – [Электронный ресурс]. URL: <https://basealt.ru/news> (дата обращения: 03.01.2025).
18. Microsoft Corporation. Расширенные функции групповой политики в Active Directory. – 2021. – [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.microsoft.com/advancedgpo> (дата обращения: 03.01.2025).
19. Чжао, Л., & Нгуен, Т. К. Групповые политики для смешанных сред: проблемы и решения // TechSystems Journal, 2023. – Т. 25, № 2. – С. 34-42.
20. Linux Foundation. Будущие тенденции в управлении доменами с открытым исходным кодом. – 2023. – [Электронный ресурс]. URL: <https://linuxfoundation.org> (дата обращения: 04.01.2025)

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не

раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Тема: Автоматизация развёртывания приложений Windows средствами GPO Альт Домена

Работа посвящена актуальной проблеме автоматизации управления и развёртывания программных приложений на примере Яндекс в смешанных средах Alt Linux и Windows средствами групповых политик. Предметом исследования являются методы настройки объектов групповых политик GPO (Group Policy Objects).

Цель работы представляется как повышение уровня автоматизации управления и развёртывания приложений средствами групповых политик GPO, а также интеграция смешанных сред на примере Alt Linux и Windows.

В работе исследованы методы управления групповыми политиками GPO для задач развёртывания приложений в смешанных средах Alt Linux и Windows. Основным результатом работы является настройка групповых политик GPO для автоматизации установки приложений Windows на примере Yandex Browser и Yandex Telemost. Выполнена проверка функциональности настроенных политик и установленных приложений. Особое внимание уделено интеграции Alt Linux и Windows и централизованному управлению установкой приложений. Обозначены перспективные направления дальнейшего исследования как адаптация к новым версиям операционных систем, интеграция с дополнительными приложениями и средствами автоматизации, анализ производительности и масштабируемости в крупных сетевых инфраструктурах.

Статья изложена грамотным техническим языком, понятным читательской аудитории в данной предметной области. Структура оформления материала, цель, объект и предмет исследования, введение, литературный обзор, библиография, выводы, соответствуют требованиям журнала. Иллюстрации приемлемого качества по критерию читабельности. Библиография содержит достаточный объем из 20 ссылок на аналогичные источники и альтернативные разработки.

Замечания:

1. Некорректно сформулирован предмет исследования, это не процесс «автоматизация», а ее средства, например «методы настройки объектов групповых политик GPO».
2. Научные результаты на первый взгляд отсутствуют. Системная настройка групповых политик GPO не может считаться научной новизной. Необходимо четко сформулировать, какой внесен новый вклад именно в науку (например, интеграция Alt Linux и Windows для обеспечения совместимости работы в смешанных средах, повышение уровня автоматизации развёртывания и настройки приложений за счет использования групповых политик, и т.д.).
3. В тексте статьи полностью отсутствуют ссылки на библиографию.
3. Во введении и литературном обзоре ссылки на внешние источники следует перенести в список библиографии.
4. Иллюстрации представлены главным образом скриншотами интерфейсов и мало информативны (рис. 2, 17-19, 21), их можно исключить без ущерба работе.
5. В заключении термин «гипотеза» лишний, по тексту статьи это не прослеживается.

Рекомендации:

1. Буква «ё» в названии статьи может некорректно отображаться на сайтах Интернет и в

системах цитирования, следует ее заменить на букву «е».

2. Аббревиатура GPO определена многократно, а некоторые другие, за исключением общепринятых, не расшифрованы (ADMC, GPUI, SMB, CIFS и др.).
3. Высвечивание IP адресов и масок подсети небезопасно (таблица 1).
4. Использование ссылок на учебную литературу в научной статье не приветствуется.
5. Опечатка в заголовке рис. 20.

Общий вывод: статья может быть принята к публикации в журнале «Кибернетика и программирование» с незначительными доработками.

Результаты процедуры повторного рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

В рецензируемой статье рассматриваются вопросы автоматизации процессов установки программного обеспечения, управления правами доступа и настройки системных параметров в доменных сетях для повышения эффективности администрирования. Методология исследования базируется на обобщении сведений из современных научных публикаций, руководств и документаций.

Актуальность работы авторы связывают с востребованностью надежных инструментов для автоматизации управления и развертывания приложений, с тем, что групповые политики (GPO) широко используются в Windows-инфраструктурах для централизованного управления настройками и установкой программного обеспечения, но их применение в смешанных средах, включающих Alt Linux, остается недостаточно изученным. По мнению авторов, вопросы совместимости системы Alt Домен, предоставляющей удобные инструменты для настройки доменов и управления групповыми политиками, с Windows требуют дальнейшего изучения.

Научная новизна работы заключается в разработке подходов к централизованной настройке и управлению политиками, обеспечивающих повышение стабильности и отказоустойчивости инфраструктуры, снижение трудозатрат и упрощение взаимодействия между Windows- и Linux-сегментами сети.

В работе выделены следующие озаглавленные разделы: Введение, Литературный обзор, Развёртывание Alt Домен, Настройка групповых политик, Заключение и Библиография.

В статье выдвигаются и подтверждаются следующие гипотезы исследования: во-первых, использование GPO в Alt Домен позволяет автоматизировать процесс развертывания приложений; во-вторых, интеграция Alt Linux с Windows через Samba обеспечивает совместимость, необходимую для работы в смешанных IT-средах; в-третьих, Alt Домен создаёт гибкую и централизованную инфраструктуру, способствующую эффективному управлению сетями организаций. В публикации освещены вопросы настройки инфраструктуры сети, авторизации устройств в доменной инфраструктуре, настройки групповых политик, обеспечивающих безопасность и управляемость, разработан и реализован подход к настройке инфраструктуры Alt Домен для автоматизации развёртывания приложений Windows с использованием групповых политик. Текст иллюстрирован 16 рисунками, которые конкретизируют изложение выполняемых действий при развертывании приложений Windows средствами GPO Альт Домена. Практическая значимость работы состоит в демонстрации решений, которые минимизируют проблемы совместимости и адаптируют инструменты GPO для среды Alt Linux.

Библиографический список включает 20 источников – научные публикации и учебные

издания по рассматриваемой теме на русском и иностранных языках, интернет-ресурсы, официальная документация и руководства. В тексте публикации имеются адресные отсылки к списку литературы, подтверждающие наличие апелляции к оппонентам. Тема статьи актуальна, материал отражает результаты проведенного авторами исследования, содержит элементы приращения научного знания, соответствует тематике журнала «Программные системы и вычислительные методы», имеет практическое значение для совершенствования администрирования компьютерных сетей, может вызвать интерес у читателей, рекомендуется к опубликованию.

Программные системы и вычислительные методы

Правильная ссылка на статью:

Зотов В.В., Зотов М.В., Алексиадис Н.Ф., Юшин В.В. Методологический концепт организации информационной системы общественно-профессиональной экспертизы в сфере экологии и благоустройства // Программные системы и вычислительные методы. 2025. № 3. DOI: 10.7256/2454-0714.2025.3.75232 EDN: ONMLAH URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=75232

Методологический концепт организации информационной системы общественно-профессиональной экспертизы в сфере экологии и благоустройства

Зотов Виталий Вдадимирович

ORCID: 0000-0003-1083-1097

доктор социологических наук, кандидат философских наук

профессор; Учебно-научный центр гуманитарных и социальных наук; Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)

141701, Россия, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9

✉ om_zotova@mail.ru



Зотов Михаил Витальевич

ORCID: 0009-0004-9111-1845

бакалавр; Институт информационных и вычислительных технологий; Национальный исследовательский университет «МЭИ»

111250, Россия, Москва, Красноказарменная ул., 14

✉ mv_zotov2@mail.ru



Алексиадис Никос Филиппович

ORCID: 0009-0006-2863-1148

кандидат физико-математических наук

доцент; кафедра прикладной математики и искусственного интеллекта; Национальный исследовательский университет «МЭИ»

111250, Россия, Москва, Красноказарменная ул., 14

✉ alexiadisnf@mpei.ru



Юшин Василий Валерьевич

ORCID: 0000-0002-1391-4229

кандидат технических наук

зав. кафедрой; кафедра охраны труда и окружающей среды; Юго-Западный государственный университет

305004, Россия, Курская область, г. Курск, ул. Челюскинцев, 19,

✉ ushinw@mail.ru



[Статья из рубрики "Базы знаний, интеллектуальные системы, экспертные системы, системы поддержки принятия решений"](#)

DOI:

10.7256/2454-0714.2025.3.75232

EDN:

ONMLAN

Дата направления статьи в редакцию:

21-07-2025

Аннотация: Сегодня констатируется разрыв между требованием государственных органов к независимому и объективному анализу принимаемых решений и механизмом привлечения представителей заинтересованных сторон к этому процессу. Ключевым инструментом для достижения этой обоснованности выступает общественно-профессиональная экспертиза. Предметом исследования стала система организации общественно-профессиональной экспертизы управленческих решений в сферах экологии и благоустройства городской среды с использованием цифровых платформ. Целью работы является создание концепта для проектирования информационной системы, обеспечивающей эффективную организацию общественно-профессиональной экспертизы. Такая система должна позволять представителям различных групп интересов коллективно участвовать в оценке общественной значимости проблем, а также вносить вклад в принятие управленческих решений в сферах экологии и благоустройства на основе прозрачного, открытого и всестороннего обсуждения. В данной работе авторы представляют интегрированную методологию согласования оценок в информационной системе общественно-профессиональной экспертизы, основанную на синтезе нечёткой логики, теории графов и методе Дельфи. В рамках разработки информационной системы общественно-профессиональной экспертизы в сфере экологии и благоустройства были созданы концептуальные модели для функционирования следующих подсистем: 1) подсистема селекции и ранжирования представителей заинтересованных сторон на основе обработки самооценок посредством нечеткой логики; 2) подсистема конфигурирования релевантной сети из пула представителей заинтересованных сторон на основе остовного дерева теории графов; 3) подсистема экспертной оценки общественно значимых проблем на основе метода Дельфи. Научная новизна исследования определяется комплексным использованием математических и организационных методов, что позволяет преодолеть неопределённость и субъективность самооценок экспертов, структурировать информационные потоки в пулах экспертов и обеспечить согласованность решений. Разработанная информационная система повышает качество и легитимность управленческих решений по общественно значимым вопросам, отвечая на актуальный вызов современности.

Ключевые слова:

экспертные сообщества, реестр экспертов, согласование экспертных оценок, информационная экспертная система, топологическая структура, теория графов, остовное дерево, метод Дельфи, нечёткая логика, общественно-профессиональная

экспертиза

Введение

В последние годы наблюдается рост числа управленческих решений, связанных с экологическими вопросами и благоустройством территорий, последствия которых недостаточно глубоко оценены с точки зрения минимизации негативного воздействия на среду обитания человека. Общественность относится к подобным решениям отрицательно, поскольку обеспокоена недооценкой возможных экологических рисков. Как следствие актуализируется задача создания механизма оценки влияния управленческих решений на окружающую среду. На текущий момент существуют механизмы проведения государственной и общественной экологической экспертизы. Однако уровень доверия к экспертам, участвующим в проведении государственной экологической экспертизы, остаётся низким ввиду их зависимости от властей или инвесторов. Доверие к экспертам, проводящим общественную экологическую экспертизу, также низкое вследствие отсутствия необходимых научных и практических знаний по рассматриваемым вопросам [\[7\]](#). Поэтому констатируется разрыв между требованием государственных органов к независимому и объективному анализу принимаемых решений и механизмом привлечения представителей заинтересованных сторон к этому процессу. Ключевым инструментом для достижения этой обоснованности выступает общественно-профессиональная экспертиза. Сущность общественно-профессиональной экспертизы: определяется как процесс человекоразмерного рассмотрения и критической оценки всеми заинтересованными сторонами (включая экспертов) всей информации по общественно значимым проблемам с целью повышения обоснованности решений [\[8, С. 682\]](#). Необходимость в такой оценке обусловлена тем фактом, что принимаемые варианты выхода из проблемных ситуаций обычно имеют многочисленные последствия, сопровождаются определенными рисками, которые часто трудно предвидеть без детального изучения и консультаций с затрагиваемыми сторонами. В этом случае *«экспертные отношения есть форма общественного диалога, направленная на мобилизацию общественного мнения для принятия согласованных решений»* [\[20, С. 783\]](#). Важна не только роль профессиональных экспертов, но и представителей разных групп интересов, что способствует более всестороннему и объективному анализу. Цель такой экспертизы – активизация неиспользуемых возможностей участников процесса путём максимального вовлечения их в оценку решений, при этом экспертиза не заменяет обязательные проверки соответствия проектов нормативам и стандартам (экологическим, строительным и др.). Примером объединения экспертных знаний и мнений заинтересованных сторон является выработка приоритетов управления водными ресурсами в бассейне реки Мекро [\[23\]](#).

Можно выделить следующие основные типовые пулы экспертов: 1) аналитики; 2) служащие органов государственной власти; 3) служащие органов муниципальной власти; 4) ведущие специалисты муниципальных организаций; 5) представители некоммерческого сектора; 6) представители бизнес-структур; 7) лидеры общественного мнения; 8) представители политических партий и общественно-политических объединений; 9) активисты муниципалитета. Обоснованность данной классификации типичных групп была подтверждена эмпирически через проведение экспертного опроса, в ходе которого задавался вопрос: «Какие субъекты выступают в роли ключевых стейкхолдеров (заинтересованных сторон) при разрешении социально значимых проблем?» [\[9, С. 117\]](#).

Сегодня анализ общественно значимых проблем в области благоустройства и экологии, как правило, организуется в формате социологических опросов [3, 15]. При этом важно отметить, что в последние десятилетия прослеживается устойчивая тенденция роста использования цифровых сервисов для выполнения экспертно-аналитической работы. В настоящее время в научной литературе имеются описания методов коллективного экспертного оценивания [5, 6, 12], даже существуют публикации по агрегированию экспертных прогнозов, собраны общие термины, методы агрегации и показатели эффективности прогнозирования, а также даны рекомендации по усилению будущих исследований, развивающихся ускоренными темпами [22].

Ряд учёных отмечает необходимость применения цифровых платформ для экспертно-аналитической деятельности, позволяющих привлекать экспертов к поддержке принятия решений через специализированные средства организации работы экспертных сообществ в распределённой сетевой среде [2, 4, 19]. Но в указанных работах недостаточно внимания уделено алгоритмизации процесса конфигурирования реляционной сети представителей заинтересованных сторон для решения общественно значимых проблем.

Целью нашей работы является создание методологического концепта организации общественно-профессиональной экспертизы на базе информационной системы, то есть разработка концепта конфигурирования экспертных пулов на цифровой платформе, где представители каждой заинтересованной стороны могут внести вклад в решение экологических проблем и благоустройство среды обитания, а решения принимаются на основе прозрачного, открытого и всестороннего обсуждения.

Однако ключевой вопрос остаётся открытым: как сделать эту экспертизу одновременно обоснованной и согласованной? Решение лежит в адекватном формировании реестров экспертов и экспертных пулов [13], а также в верном подборе методов организации процедуры экспертного оценивания. По сути, цифровые сервисы должны уметь применять методы оценки компетентности участников процесса и их соответствия требованиям конкретной задачи, а также формировать релевантные сети представителей заинтересованных сторон, способствующие согласованному решению социально значимых проблем. Это достигается за счёт подбора адекватных математических и организационных методов. В процессе разработки информационной системы общественно-профессиональной экспертизы необходимо будет создать концептуальные модели для функционирования следующих подсистем:

- 1) подсистема селекции и ранжирования представителей заинтересованных сторон на основе самооценок;
- 2) подсистема конфигурирования релевантной сети из пула представителей заинтересованных сторон для осуществления общественно-профессиональной экспертизы;
- 3) подсистема экспертной оценки общественно значимых проблем.

В данной работе авторы представляют интегрированную методологию согласования оценок в информационной системе общественно-профессиональной экспертизы, основанную на синтезе нескольких научных подходов.

Селекция и ранжирование представителей заинтересованных сторон на основе самооценок

Селекция представителей заинтересованных сторон (стейкхолдеров) и выставление рейтинговой оценки их пригодности для экспертной работы – задача непростая. В общем случае алгоритм этого процесса можно представить в виде этапов, представленных на рисунке 1.

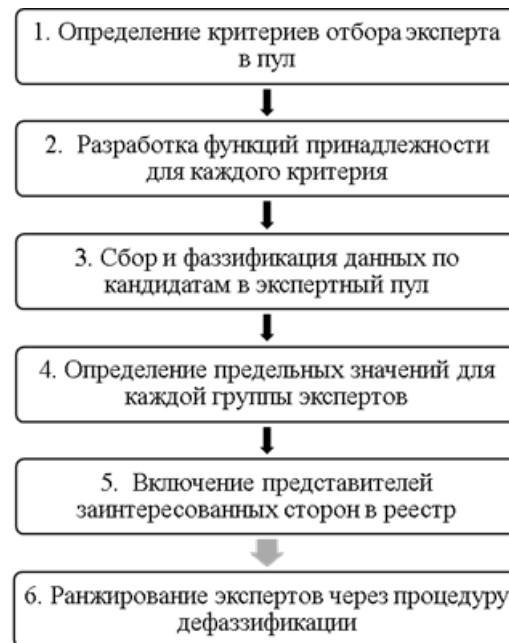


Рисунок 1. Алгоритм составления реестра экспертов на основе нечеткой логики

Для определения критериев отбора эксперта обратимся к идее Т. М. Дридзе, которая отмечала, что при привлечении лиц к выработке социально значимых управленческих решений, затрагивающих судьбы социально-территориальных общностей, необходимо учитывать уровень 1) профессиональной ориентации в проблеме (K_1 – компетентности), 2) информированности о локальной ситуации (K_2 – информированности) и 3) объективности суждений (K_3 – беспристрастности) [16]. Представленные оценочные показатели могут быть установлены посредством процедуры самооценки, реализуемой через анкетирование специалистов с применением соответствующих индикаторов: «Охарактеризуйте степень собственной компетентности в обозначенной области деятельности», «Определите уровень осведомлённости относительно рассматриваемой проблематики», «Оцените наличие способности принимать решения беспристрастно и обоснованно». Эксперты самостоятельно оценивают уровень своих знаний и опыта по специальной рейтинговой шкале, установленной организаторами экспертизы. Например, используется числовая градация от 0 до 10, где значение «0» соответствует минимальному уровню самооценки, а «10» – максимальной её степени.

Традиционные методы сталкиваются часто с субъективностью, сложностью формализации качественных характеристик экспертов (ориентация в проблеме, информированность, объективность) и необходимостью обработки мнений, выраженных в лингвистической форме (например, «высокая компетентность», «средняя осведомлённость», «низкая объективность»). Именно здесь на помощь приходит математический аппарат нечёткой логики (fuzzy logic), предлагающий мощный инструментарий для работы с неопределенностью и качественными оценками при оценке компетентности эксперта [1]. Далее осуществим разработку функций принадлежности для каждого критерия с использованием трапецевидных функций, что позволяет формализовать лингвистические переменные и их значения в виде нечётких множеств.

Рассмотрим вводимые переменные K_1 – компетентность, K_2 – информированность, K_3 – беспристрастность. Зададим их следующими параметрами $\langle x_{Ki}, T_{Ki}, U_{Ki}, M_{Ki} \rangle$, где $T_{Ki} = \{t_1, t_2, t_3, \dots\} = \{\text{«высокий»}, \text{«средний»}, \text{«низкий»}\}$. Поскольку каждый критерий в данном случае оценивается по 10 бальной шкале, то $U_{Ki} = \{1, \dots, 10\}$, M_{Ki} – трапецевидные функции принадлежности, аналитическое выражение для которых задаётся выражением (1):

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ 1, & b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c < x \leq d \\ 0, & d < x \end{cases} \quad (1)$$

где параметры $[a, b, c, d]$ для $t_1 = [-3, -2, 2, 3]$, $t_2 = [2, 3, 7, 8]$, $t_3 = [7, 8, 12, 13]$.

График функции принадлежности приведён на рис 2.

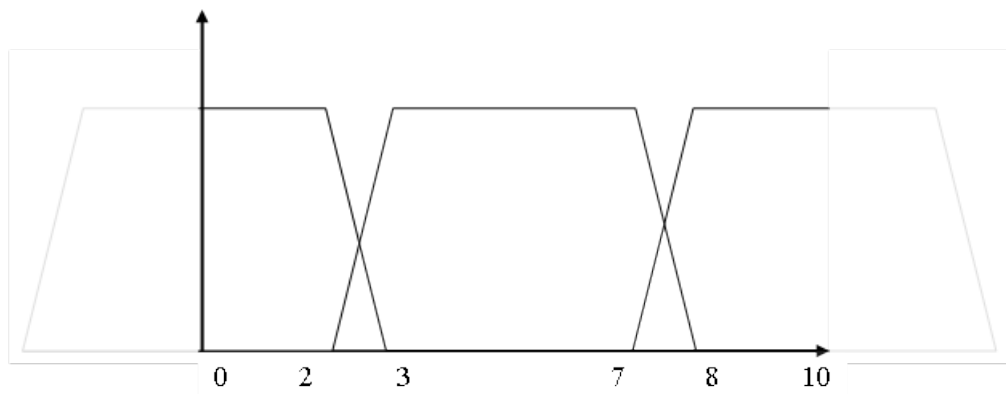


Рисунок 2. Графики функций принадлежности лингвистических переменных, измеренных по 10-бальной шкале

Необходимо ясно осознавать тот факт, что сами представители заинтересованных сторон объективно лишены возможности в полной мере соответствовать высоким критериям, необходимым для присвоения статуса эксперта. Иными словами, существуют конкретные ограничения, установленные для каждой группы участников экспертиз, которые выступают своего рода пределом, определяющим уровень компетенции представителей заинтересованной стороны. Эти пределы представляют собой некий пороговый барьер, преодолеть который невозможно даже теоретически, поскольку природа ограничений обусловлена самим характером деятельности указанных лиц и является принципиально непреодолимой преградой, задающей верхнюю границу компетентности и профессионализма каждого представителя конкретной категории специалистов. В таблице 1 представлены предельные оценки трёх важнейших характеристик различных групп стейкхолдеров, участвующих в общественно-профессиональной экспертизе: ориентация в проблеме (K_1), информированность о ситуации (K_2) и объективность суждений (K_3).

Таблица 1.

Предельная оценка уровня ориентации в проблеме, информированности и объективности
стейкхолдеров общественно-профессиональной экспертизы

Группы стейкхолдеров	K1: Уровень ориентации в проблеме	K2:Уровень информированности о ситуации	K3:Уровень объективности суждений
Аналитики / представители научного сообщества	Высокий	Низкая	Высокий
Служащие органов государственной власти	Высокий	Высокий	Средний
Служащие органов муниципальной власти	Высокий	Высокий	Средний
Ведущие специалисты муниципальных организаций	Высокий	Высокий	Средний
Представители некоммерческого сектора	Высокий	Высокий	Средний
Представители бизнес- структур	Средний	Низкий	Средний
Лидеры общественного мнения	Средний	Высокий	Высокий
Представители общественно- политических структур	Средний	Средний	Средний
Активисты муниципалитета	Средний	Низкий	Высокий

Для каждого кандидата оценки по всем критериям агрегируются в интегральную нечёткую оценку пригодности для экспертного пула. Это ключевой этап. Присвоение статуса зависит от сочетания уровней компетенций, информированности и объективности суждений кандидата в зависимости от принадлежности к экспертному пулу.

Результирующая нечеткая оценка уровня пригодности каждого кандидата подвергается процедуре преобразования («дефаззификации») в чёткую числовую величину, называемую **интегральным рейтингом**.

Для этой цели используются различные методы дефаззификации, среди которых наиболее распространённым является метод центра тяжести (COG): расчёт точки равновесия функции принадлежности, когда область неопределённости оценивается через координату центра масс области распределения значений. Его суть заключается в нахождении точки на оси абсцисс (оси входных значений), которая делит площадь под кривой функции принадлежности нечёткого множества на две равные части. Эта точка и считается четким (крип) выходным значением, представляющим итоговый результат нечёткого вывода. Для дискретной функции принадлежности $\mu(x)$ COG вычисляется как:

$$COG = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)}, \quad (2)$$

где x_i — точки из носителя, $\mu(x_i)$ — их степени принадлежности.

Метод COG широко используется благодаря своей естественности интерпретации и сбалансированности результатов. Он преобразует «размытое» множество в одно крисп-значение, оптимально отражающее совокупность всех возможных состояний системы.

После получения точного численного значения интегрального рейтинга осуществляется ранжирование кандидатов в порядке убывания данного показателя. Таким образом, кандидат с наивысшим значением интегрального рейтинга получает приоритетное место в итоговом списке претендентов.

Оптимизация топологической структуры сети экспертов на основе теории графов

Для повышения эффективности экспертной работы важно не только собрать квалифицированных экспертов, но и оптимально организовать их взаимодействие. Поэтому большую роль в процессе выработки управленческих решений по общественно значимым проблемам играет наличие алгоритмов, оптимизирующих топологические структуры сети экспертов. Сетевая топология – это конфигурация графа, вершинам которого соответствуют конечные узлы сети (в нашем случае – представители заинтересованных сторон $\{V\}$), а рёбрам – информационные связи между вершинами (в нашем случае – показатели оценки квалификации эксперта с точки зрения другого эксперта $\{X\}$). Таким образом сетевую топологию описывает граф $G = (V, X)$.

Алгоритмы оптимизации направлены на совершенствование формальных и неформальных взаимодействий внутри экспертного пула. Ключевая задача здесь заключается в поиске оптимального баланса между двумя важнейшими аспектами работы такой сети. Во-первых, он обеспечивает минимизацию количества межличностных связей, поскольку меньшее число непосредственных контактов между экспертами способствует повышению эффективности коммуникации и сокращению затрат ресурсов. Во-вторых, он снижает уровень давления на эксперта, поскольку оптимальная структура обеспечивает условия, при которых мнения каждого эксперта получают максимальное внимание и учёт остальных участников группы. Формирование оптимальной конфигурации экспертной сети, способствующей наиболее эффективному обмену знаниями и выработке согласованных рекомендаций по важным общественным вопросам, возможно на основе теории графов через нахождение остовного дерева максимального веса. Остовное дерево – подграф связного взвешенного ориентированного графа, включающий все вершины исходного графа и являющийся деревом с максимальной суммой весов рёбер среди всех возможных деревьев, покрывающих этот граф [17]. Другими словами, если имеется сеть экспертов, связанных различными оценками квалификации друг друга $G = (V, X)$, то остовное дерево максимального веса покажет маршрут прохождения экспертного заключения между всеми участниками таким образом, чтобы общая оценка компетенции экспертов была наибольшей из возможных.

В качестве отношений между ними, обозначенными нами как рёбра (X) , в данном случае будет использован интегральный показатель оценки квалификации эксперта с точки зрения другого эксперта.

Каждый эксперт даёт оценки уровню информированности о проблеме (X_1), вовлеченности в проблему (X_2), объективности суждений (X_3) экспертов, представляющих другие пулы заинтересованных сторон. Например, лидеры общественного мнения дают соответствующие оценки представителям бизнес-структур,

служащим органов власти и т. д. Оценки выставляются по девятибалльной шкале: «1» — низкий уровень... «10» — высокий уровень. Здесь можно применять тот же метод нечёткой логики, который использовался и для самооценки компетентности самих экспертов. После процедур фазификации и дефазификации получится интегральная оценка квалификации эксперта с точки зрения другого эксперта.

В том случае, когда эксперт затрудняется дать оценку или отказывается от таковой, тогда ставится прочерк. Отсутствие оценки со стороны эксперта означает отсутствие отношений между ними (то есть отсутствие взвешенной дуги на ориентированном графе). Оценка связности графа в условиях, когда часть экспертов не даёт оценок, проводится через построение и анализ матрицы смежности, где пропуски трактуются как отсутствие дуг. Это позволяет выявить, насколько полно эксперты охватили все возможные связи, и определить, существуют ли изолированные группы или вершины.

Все полученные оценки заносятся в таблицу взаимной оценки, опираясь на которую необходимо минимизировать количество связей между экспертами при обеспечении максимальной квалификации сетевой структуры экспертов. Такая таблица является матрицей смежности для взвешенного ориентированного графа. Пример, подобного представления даётся в таблице 2.

Таблица 2.

Таблица взаимной оценки квалификации привлекаемых экспертов

		Кому дают оценку								
		V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	V ₇	V ₈	V ₉
Кто даёт оценку	V ₁		X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	X ₁₈	X ₁₉
	V ₂	X ₂₁		X ₂₃	X ₂₄	X ₂₅	X ₂₆	X ₂₇	X ₂₈	X ₂₉
	V ₃	X ₃₁	X ₃₂		X ₃₄	X ₃₅	X ₃₆	X ₃₇	–	X ₃₉
	V ₄	X ₄₁	X ₄₂	X ₄₃		X ₄₅	X ₄₆	X ₄₇	X ₄₈	X ₄₉
	V ₅	X ₅₁	X ₅₂	X ₅₃	X ₅₄		X ₅₆	X ₅₇	X ₅₈	X ₅₉
	V ₆	X ₆₁	X ₆₂	X ₆₃	X ₆₄	X ₆₅		X ₆₇	X ₆₈	X ₆₉
	V ₇	–	X ₇₂	X ₇₃	X ₇₄	X ₇₅	X ₇₆		X ₇₈	X ₇₉
	V ₈	X ₈₁	X ₈₂	–	X ₈₄	X ₈₅	X ₈₆	X ₈₇		X ₈₉
	V ₉	X ₉₁	X ₉₂	X ₉₃	X ₉₄	X ₉₅	X ₉₆	X ₉₇	X ₉₈	

В итоге поставленная задача формализуется в виде взвешенного полного ориентированного графа в виде матрицы типа 9 x 9, для которого следует решить задачу на нахождение остовного дерева максимального веса.

Необходимо выбрать подграф, являющийся деревом, который охватывает все вершины исходного графа таким образом, чтобы сумма весов выбранных дуг была максимальной. Это дерево должно обладать следующим свойством: между любыми двумя вершинами существует единственный простой путь. Подобное решение называют максимальным остовным деревом.

Для задачи построения максимального остовного дерева можно применить жадную стратегию. Жадный алгоритм – однопроходный итерационный алгоритм. Строит решение, добавляя на каждом шаге к текущему частичному решению новый элемент. Добавляемый элемент выбирается на основе локального оптимума («наилучший на текущем шаге»).

Для решения задачи применим инвертированный алгоритм Прима поиска остова дерева во взвешенном неориентированном графе. Данный алгоритм назван в честь американского математика Роберта Прима, открывшего его в 1957 г. [\[14\]](#)

Алгоритм обладает предельно простым видом [\[17, 24\]](#). Остовное дерево формируется последовательно путём добавления рёбер одно за другим. Начальная конфигурация дерева состоит всего лишь из одной произвольной вершины. Далее находится и включается в дерево ребро наибольшего веса, исходящее от начальной вершины. Теперь дерево включает две вершины, после чего продолжается поиск и добавление следующего ребра максимального веса, соединяющего одну из двух существующих вершин с любой из оставшихся непокрытых вершин графа. Данный процесс повторяется циклически: каждый раз выбирается максимальное по весу ребро, одна вершина которого принадлежит уже построенному дереву, другая же лежит вне текущего остова (при наличии нескольких подходящих рёбер допустимо выбирать любое из них). Итерации продолжаются вплоть до включения в остов всех вершин (либо ровно $n - 1$ рёбра), результатом чего становится искомое минимальное покрывающее дерево. Но следует сделать одно замечание, если граф был изначально не связан (то есть отсутствовали оценки какого-либо эксперта), то остов найден не будет при помощи этого алгоритма.

Данный алгоритм может быть использован в данном случае, поскольку в задаче представлен полный ориентированный граф, вершины которого связаны между собой дугами, вес которых меняется в зависимости от направления движения между вершинами. Именно эту особенность и следует учесть в нашем алгоритме.

Применение метода Дельфи для согласования экспертных оценок

Важно, чтобы решения принимались коллективно, основываясь на консенсусе, сформированном через взаимное признание компетентности среди членов экспертного сообщества. Метод Дельфи — это структурированная процедура получения согласованного мнения группы экспертов посредством анонимных опросов в несколько раундов. Его цель — агрегировать индивидуальные оценки для формирования коллективного решения на основе поэтапного сближения позиций специалистов [\[10, 18\]](#).

В общем случае организация работы экспертов по данному методу осуществляется в следующем порядке (см. рисунок 3).

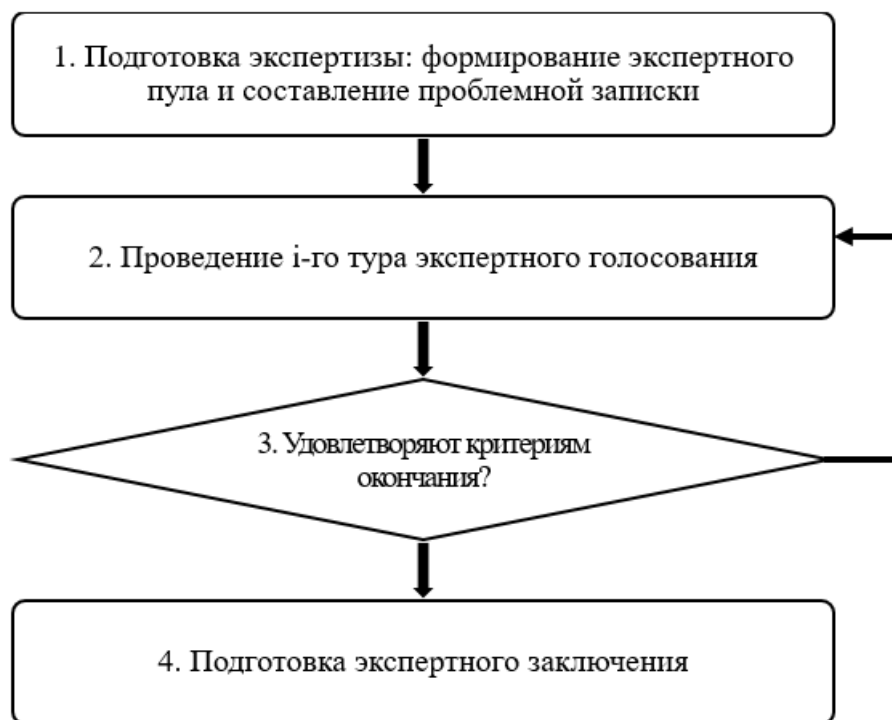


Рисунок 3. Алгоритм проведения экспертной оценки на основе метода Дельфи

В процессе каждого тура экспертам сообщаются результаты предыдущего опроса с целью дополнительного обоснования их оценок в следующем раунде. Считается, что метод Дельфи наиболее применим, когда к работе привлекаются эксперты, обладающие компетентностью по различным аспектам проблемы, а не по всей теме в целом. Преимущества данного метода заключаются в формировании независимых заключений по обсуждаемым вопросам каждым участником группы с последующим объединением мнений. Итоговый результат оказывается впечатляющим: первоначально существенно расходящиеся мнения постепенно сближаются. Единого мнения (или полного консенсуса) удаётся достичь редко, однако итоговая оценка оказывается значительно надёжнее оценки отдельного эксперта.

На основе построенного ранее оstenсивного дерева максимального веса начинается процесс последовательного вовлечения экспертов для решения поставленной задачи. Порядок участия каждого специалиста определяется топологией полученного дерева: привлечение осуществляется строго в порядке следования вершин от корня данного дерева.

Эксперты отвечают на поставленные вопросы и обосновывают свою позицию. Им предлагают заполнить следующую таблицу (см. Таблицу 3).

Таблица 3.

Индивидуальные экспертные оценки для проблемной ситуации

Вопрос	Экспертная оценка	Объяснения (комментарии)

Процесс взаимодействия между специалистами выглядит следующим образом. Подготовка экспертного заключения стартует с эксперта, соответствующего корню дерева. Этот специалист формирует своё первоначальное мнение относительно

рассматриваемой проблемы, основываясь исключительно на собственных знаниях и опыте.

Далее информация передаётся последовательно другим специалистам, соответствующим смежным вершинам дерева. Каждый последующий эксперт получает результаты работы своего предшественника — конкретные числовые оценки и сопровождающие их пояснения-комментарии. Эксперт внимательно изучает полученные данные, учитывая рекомендации коллег и делая собственные выводы на основании анализа этой информации совместно с собственными знаниями и опытом.

После ознакомления с мнением предыдущего коллеги новый эксперт дополняет картину своими аргументами и формулирует собственную оценку. Затем эта обновлённая версия результатов снова транслируется дальше по цепочке к следующему эксперту, связанного ребром в графе с данным специалистом.

Завершение этапа привлечения экспертов: процедура продолжается до тех пор, пока не будут привлечены все специалисты, соответствующие каждой вершине базового дерева.

Для получения итоговых количественных показателей рассчитывается средняя арифметическая величина всех полученных оценок.

Полученные ответы обобщают и представляют в удобной для сравнения таблице, упорядочивая их от наиболее оптимистичных до наименее благоприятных прогнозов или наоборот (таблица 4).

Таблица 4.

Обобщённые экспертные оценки

Вопрос:		
Эксперт, представляющий группу...	Экспертная оценка	Объяснения (факторы)
ведущих специалистов муниципальных организаций		
служащих органов муниципальной власти		
служащих органов государственной власти		
лидеров общественного мнения		
представителей некоммерческого сектора		
аналитиков / представителей научного сообщества		
представителей общественно-политических структур		
активистов муниципалитета		
представителей бизнес-структур		
	$E_{ср} = \sigma^2 =$	

Все предоставленные комментарии собираются воедино, приводятся в единую форму перечня, где фиксируются ключевые аргументы и замечания экспертов. После обработки данных эксперты получают сводный отчёт, позволяющий ознакомиться с мнениями

коллег, частотой тех или иных экспертных оценок и выявить основные аргументы. Если обнаруживается значительное расхождение взглядов, заинтересованная организация проводит дополнительные исследования и делится результатами с экспертами.

Таким образом, использование структуры базового дерева позволяет организовать систематический порядок обмена информацией среди группы экспертов, обеспечивает согласованность выводов и повышает объективность конечного результата.

Далее начинается следующий этап, когда каждый эксперт имеет возможность изменить своё первоначальное мнение или подтвердить прежнюю позицию. Процедура повторяется ещё несколько раз. Итоговый эффект поражает: изначально резко различавшиеся точки зрения постепенно сближаются. Хотя полного консенсуса достичь удаётся редко, итоговый прогноз обладает существенно большей надёжностью, нежели индивидуальная оценка отдельного специалиста.

Экспертиза считается завершённой, когда разница между индивидуальными и средними оценками экспертов становится менее 10% или изменение дисперсии оценок между турами не превышает 10%, что свидетельствует о стабилизации мнений.

Итоговое заключение включает описание метода (последовательность опроса экспертов и число раундов; итоговые согласованные экспертные оценки (средние или медианные значения); ключевые выводы и рекомендации; уровень достигнутого согласия (стандартное отклонение), сохранившиеся разногласия и их причины.

Таким образом, подготовка экспертного заключения в процессе метода Дельфи — это циклическая процедура, трансформирующая индивидуальные мнения экспертов в согласованную оценку через ряд раундов. Безусловно, далее можно применять методы, повышающие согласованность экспертных оценок — например, метод согласования на основе анализа индексов нечёткости [11], или метод линейного объединения мнений, который объединяет мнения экспертов путём итеративного обновления весов на основе расстояний между ними [21].

Важнейшим критерием расчёта интегрального рейтинга конкретного эксперта служит степень схождения его личной экспертной оценки с совокупной оценкой всех остальных экспертов. Чем ближе индивидуальные прогнозы отдельных специалистов к общему мнению группы, тем точнее общий рейтинг и качественнее проводимая экспертиза. Именно поэтому показатели отклонения индивидуальных оценок используются как инструмент корректировки, позволяющий повысить точность системы ранжирования и обоснованность присвоенных баллов каждому эксперту. Коррекция интегрального рейтинга может быть реализована по следующей формуле:

$$R_{new} = R + A(D) \quad (4)$$

где

D – абсолютное отклонение индивидуального прогноза эксперта от среднеарифметического прогноза группы (в процентах);

R – исходный интегральный рейтинг эксперта;

R_{new} – скорректированный интегральный рейтинг эксперта.

При этом функция корректировки **A(D)** определяется следующим образом

$$A(D) = \begin{cases} +1 & \text{если } |D| < 5 \\ 0 & \text{если } 5 \leq |D| \leq 10 \\ -0,1 \times \frac{|D|}{10} & \text{если } |D| > 10 \end{cases} \quad (5)$$

Пояснения к формуле. Если отклонение менее 5%, эксперт получает бонус +1 балл. Если отклонение от 5% до 10% включительно, рейтинг не изменяется. Если отклонение превышает 10%, за каждые полные 10% сверх 10% вычитается 0,1 балла. Например, если разница равна 40%, то дополнительно будет вычтено четыре десятых балла (0,4).

Заключение

Таким образом, в процессе исследования был разработан методологический концепт организации информационной системы общественно-профессиональной экспертизы — научно обоснованная модель, обеспечивающая эффективное, прозрачное и инклюзивное экспертное сопровождение решений в сфере экологии и благоустройства с помощью современных цифровых инструментов. Предложенная методология, основанная на нечёткой логике и теории графов, методе Дельфи, предлагает мощный инструмент для решения проблемы доступности и достоверности общественно-профессиональной экспертизы в области экологии и благоустройства. Это позволяет преодолеть неопределённость и субъективность самооценок экспертов, структурировать информационные потоки в пулах экспертов и обеспечить согласованность решений. Такой подход повышает качество и легитимность управленческих решений по общественно значимым вопросам, отвечая на актуальный вызов современности.

Библиография

1. Ажмухамедов И. М. Нечеткая когнитивная модель оценки компетенций специалиста // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – № 2. – С. 186-190. – EDN: NWDQHD.
2. Армашова-Тельник Г. С. Проблематика принятия управленческих решений в условиях цифровизации экономики России // Инновационная наука. – 2020. – № 4. – С. 96-100. – EDN: BVFDAI.
3. Балахнина А. Г. Формирование системы социологического исследования отношения общества к проблемам экологии // Социология. – 2022. – № 3. – С. 164-172. – EDN: BLUNOG.
4. Богомолов А. В., Климов Р. С. Автоматизация обработки информации при проведении коллективных сетевых экспертиз // Автоматизация. Современные технологии. – 2017. – Т. 71, № 11. – С. 509-512. – EDN: ZVEQMB.
5. Брит А. А., Калитина В. В., Ковалев И. В. Информационные технологии поддержки комплексной оценки экспертных решений // Системы управления и информационные технологии. – 2024. – № 2(96). – С. 34-37. – EDN: XPSUKO.
6. Елисеева Н. А., Птускин А. С., Мазин А. В. Разработка методики получения коллективной экспертной оценки при формировании факторов на этапе стратегического анализа // Вопросы радиоэлектроники. – 2017. – № 11. – С. 94-98. – EDN: ХАКСМУ.
7. Ерофеева В. В., Краева В. Н. Проблемы реализации механизмов общественной экологической экспертизы // Научно-методический электронный журнал "Концепт". – 2015. – Т. 13. – С. 2046-2050. – EDN: RWMOUV.
8. Зотов В. В. Общественно-профессиональная экспертиза управленческих решений по социально значимым проблемам города как инструмент достижения консолидации // НОМОТНЕТИКА: Философия. Социология. Право. – 2022. – № 47(4). – С. 682-690. – DOI:

10.52575/2712-746X-2022-47-4-682-690. – EDN: RLLEXH.

9. Зотов В. В. Общественно-профессиональная экспертиза управленческих решений по общественно значимым проблемам города // Научный результат. Социология и управление. – 2023. – Т. 9, № 1. – С. 113-125. – EDN: AWREPJ. – DOI: 10.18413/2408-9338-2023-9-1-0-10.

10. Илиева С. Б. Базовые процессы и круговое протекание метода Дельфи // Научные труды Северо-Западного института управления РАНХиГС. – 2014. – Т. 5, № 1(13). – С. 141-148. – EDN: ULSPFF.

11. Кузнецов В. О., Панова Н. Ф. Определение согласованности экспертных оценок на основе анализа индексов нечеткости // Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 109-14. – С. 66-69. – EDN: HJRDWY. – DOI: 10.18411/trnio-05-2024-727.

12. Малаева Е. Д., Яхьяева Г. Э. Программная система визуализации и проверки согласованности оценочных знаний экспертов // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. – 2023. – Т. 21, № 1. – С. 32-45. – EDN: VCHDIM. – DOI: 10.25205/1818-7900-2023-21-1-32-45.

13. Мельник П. Б. Методика формирования экспертных пулов и групп для проведения экспертно-аналитических исследований // Инноватика и экспертиза: научные труды. – 2017. – № 1(19). – С. 39-54. – EDN: YUNGIT.

14. Одинец В. П. К истории двух знаменитых оптимизационных алгоритмов в теории графов // Математика в высшем образовании. – 2013. – № 11. – С. 121-128. – EDN: FOGVHY.

15. Преликова Е. А. Результаты экспертного опроса по благоустройству городской среды (на примере г. Курска). Блок "Общественные пространства и социальные связи" // Энергия: экономика, техника, экология. – 2023. – № 6 (462). – С. 53-58. – EDN: CYXAAZ. – DOI: 10.7868/S0233361923060083.

16. Прогнозное социальное проектирование: методологические и методические проблемы / Боровик Е. Н., Библер В. С., Гаазе-Рапопорт М. Г. и др.; Отв. ред. Т. М. Дридзе. – М.: Наука, 1989. – 256 с.

17. Пронникова Т. Ю. Алгоритмы теории графов // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 36. – С. 1536–1542. – EDN: KBNNPU.

18. Стончюте К. Э., Гурбо А. А., Пузыревская А. А. Методы экспертных оценок: Метод Дельфи // Научное знание современности. – 2021. – Т. 53, № 5. – С. 16-19. – EDN: RXSXZX.

19. Тобин Д. С. Сетевая экспертно-аналитическая платформа как инструментальное средство поддержки принятия решений в распределённой среде // Вестник НГУЭУ. – 2020. – № 3. – С. 231-240. – EDN: YYAEUN. – DOI: 10.34020/2073-6495-2020-3-231-240.

20. Щеглов И. А. Экспертные отношения как платформа философии фидбэка в образовательном пространстве // Гуманитарный вестник. – 2022. – № 3. – С. 783. – EDN: FGRDVT. – DOI: 10.18698/2306-8477-2022-3-783.

21. Carvalho A., Larson K. A Consensual Linear Opinion Pool // IJCAI '13: Proceedings of the 23rd International Joint Conference on Artificial Intelligence. – Beijing, China, 2013. – P. 2518-2524.

22. McAndrew T., Wattanachit N., Gibson G. C., Reich N. G. Aggregating predictions from experts: A review of statistical methods, experiments, and applications // Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics. – 2021. – Vol. 13, № 2. – P. e1514. – DOI: 10.1002/WICS.1514. – EDN: KWHDFL.

23. Reynaud A., Markantonis V., Carmona Moreno C., N'Tcha M'Po Y., Sambienou G. W., Adandedji F. M., Afouda A., Agbossou E. K., Mama D. Combining Expert and Stakeholder Knowledge to Define Water Management Priorities in the Mékrou River Basin // Water. – 2015. – Vol. 7, № 12. – P. 7078-7094. – DOI: 10.3390/w7126675.

24. Wang W., Huang Y., Guo S. Design and Implementation of GPU-Based Prim's Algorithm. International Journal of Modern Education and Computer Science. – 2011. – Vol. 3, № 4. – P. 55-62. – DOI: 10.5815/IJMECS.20114.0. – EDN: IEBVDH.

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Представленная статья на тему «Методологический концепт организации информационной системы общественно-профессиональной экспертизы в сфере экологии и благоустройства» соответствует тематике журнала «Программные системы и вычислительные методы» и посвящена вопросу создания методологического концепта организации общественно-профессиональной экспертизы на базе информационной системы, то есть разработка концепта конфигурирования экспертных пулов на цифровой платформе, где представители каждой заинтересованной стороны могут внести вклад в решение экологических проблем и благоустройство среды обитания, а решения принимаются на основе прозрачного, открытого и всестороннего обсуждения.

В статье представлен достаточно широкий анализ литературных российских и зарубежных источников по теме исследования. На источники литературы в тексте имеются ссылки.

Авторы выделяют основные типовые пулы экспертов: 1) аналитики; 2) служащие органов государственной власти; 3) служащие органов муниципальной власти; 4) ведущие специалисты муниципальных организаций; 5) представители некоммерческого сектора; 6) представители бизнес-структур; 7) лидеры общественного мнения; 8) представители политических партий и общественно-политических объединений; 9) активисты муниципалитета.

Для создания экспертизы одновременно обоснованной и согласованной авторы рассматривают решение в виде адекватного формирования реестров экспертов и экспертных пулов, а также в верном подборе методов организации процедуры экспертного оценивания.

Для того, чтобы решения принимались коллективно, основываясь на консенсусе, сформированном через взаимное признание компетентности среди членов экспертного сообщества, применялся метод Дельфи — структурированная процедура получения согласованного мнения группы экспертов посредством анонимных опросов в несколько раундов.

Стиль и язык изложения материала является научным и доступным для широкого круга читателей. Статья по объему соответствует рекомендуемому объему от 12 000 знаков.

Статья достаточно структурирована - в наличии введение, заключение, внутреннее членение основной части.

Авторами в процессе исследования был разработан методологический концепт организации информационной системы общественно-профессиональной экспертизы — научно обоснованная модель, обеспечивающая эффективное, прозрачное и инклюзивное экспертное сопровождение решений в сфере экологии и благоустройства с помощью современных цифровых инструментов. Предложенная методология, основанная на нечёткой логике и теории графов, методе Дельфи, предлагает мощный инструмент для решения проблемы доступности и достоверности общественно-профессиональной экспертизы в области экологии и благоустройства. Это позволяет преодолеть неопределённость и субъективность самооценок экспертов, структурировать информационные потоки в пулах экспертов и обеспечить согласованность решений.

Такой подход повышает качество и легитимность управленческих решений по общественно значимым вопросам, отвечая на актуальный вызов современности.

Статья «Методологический концепт организации информационной системы общественно-профессиональной экспертизы в сфере экологии и благоустройства» может быть рекомендована к публикации в журнале «Программные системы и вычислительные методы».

Программные системы и вычислительные методы

Правильная ссылка на статью:

Кашко В.В., Олейникова С.А. Общий алгоритм ликвидации критических состояний для решения задачи управления реальным шагающим роботом на основе методов глубокого обучения с подкреплением // Программные системы и вычислительные методы. 2025. № 3. DOI: 10.7256/2454-0714.2025.3.75996 EDN: OOVYNZ URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=75996

Общий алгоритм ликвидации критических состояний для решения задачи управления реальным шагающим роботом на основе методов глубокого обучения с подкреплением

Кашко Василий Васильевич

ORCID: 0009-0009-6146-9295

аспирант; кафедра автоматизированных и вычислительных систем; Воронежский государственный технический университет

394006, Россия, Воронежская обл., г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84

✉ vasya.kashko@mail.ru



Олейникова Светлана Александровна

ORCID: 0000-0002-0333-2313

доктор технических наук

профессор; кафедра автоматизированных и вычислительных систем; Воронежский государственный технический университет

394006, Россия, Воронежская обл., г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84

✉ s.a.oleynikova@gmail.com



[Статья из рубрики "Базы знаний, интеллектуальные системы, экспертные системы, системы поддержки принятия решений"](#)

DOI:

10.7256/2454-0714.2025.3.75996

EDN:

OOVYNZ

Дата направления статьи в редакцию:

24-09-2025

Аннотация: Объектом исследования является мобильный шагающий робот с двумя или

более подвижными конечностями шарнирного типа. Вводится понятие «критического состояния», при возникновении которого механизм балансирует на грани падения (но не падает) или возникает вероятность повреждения механических узлов, по причине генерации недопустимых углов сочленений. Предметом исследования является общий алгоритм ликвидации критических состояний, обеспечивающий возможность обучения агента, основанного на глубоком алгоритме обучения с подкреплением, напрямую на реальном роботе, без риска повреждения его механизмов и прерывания процесса взаимодействия с окружающей средой для восстановления устойчивого состояния. Целью данной работы является разработка общего алгоритма ликвидации критических состояний в контексте адаптивного управления шагающим роботом на основе алгоритмов глубокого обучения с подкреплением. Было произведено сравнение предлагаемого и стандартного способов применения глубокого ОП на реальном роботе. Эксперименты проводились на 6000 эпизодах, размерностью в 300 шагов каждый. Для оценки были выбраны следующие метрики качества: процент эпизодов без фактического падения, процент полностью завершённых эпизодов, максимальная длина эпизода. Формирование алгоритма основывается на понятии «критическое состояние» и использует следующие принципы и методы: метод «проб и ошибок», принцип обратной связи, удержание проекции точки центра тяжести в области многоугольника, образованного точками соприкосновения конечностей с рабочей поверхностью, что обеспечивает балансировку конструкции и позволяет определить пограничные области, в которых робот ещё устойчив. Научная новизна работы заключается в предлагаемом подходе, позволяющем интеллектуальному агенту управлять физическим роботом «напрямую», без предварительной настройки в имитационной среде с последующей реализацией переноса. Предлагаемый алгоритм не направлен на повышение производительности агента, а предназначается для обеспечения большей автономности в процессе обучения робота, непосредственно в «железе». Основная идея заключается в моментальном реагировании на возникшее критическое состояние в виде наискорейшего последовательного возврата на некоторое число шагов назад по траектории принятия решений, обеспечив агенту постоянное пребывание в стабильном безопасном состоянии. В качестве метода глубокого обучения с подкреплением был использован метод проксимальной оптимизации политики (PPO). В результате сравнительного анализа предлагаемый алгоритм продемонстрировал сто кратный прирост устойчивости механизма.

Ключевые слова:

система управления, обучение с подкреплением, глубокие нейронные сети, алгоритм, интеллектуальный агент, критическое состояние, шагающий робот, локомоторная программа, стабилизация, окружающая среда

Введение

Основная идея обучения с подкреплением (ОП) заключается в обучении агента (система управления, контроллер) достижению некоторой поставленной цели методом проб и ошибок на базе опыта, получаемого в процессе непосредственного взаимодействия с окружающей средой [\[1\]](#). Взаимодействие осуществляется путём выполнения действий агентом, в ответ на которые среда продуцирует реакцию в виде сигналов вознаграждения [\[1 - 3\]](#). Множество действий может быть дискретным или непрерывным, представимым в виде распределения вероятностей [\[1 - 3\]](#). Среди решаемых задач

выделяются эпизодические и континуальные (непрерывные) [11]. В первом случае, агент взаимодействует со средой строго отведённое количество временных шагов, по завершении которого начинается новая итерация. Непрерывный вариант, зачастую, сводится к эпизодической форме, посредством введения некоторого искусственного значения длины эпизода - горизонта [11]. Основным принципом функционирования целенаправленного агента является выполнение поставленной задачи путём выбора действий, максимизирующих суммарное вознаграждение, именуемое доходом [1 - 3].

В настоящее время, глубокое обучение с подкреплением, являясь одной из разновидностей машинного обучения, приобрело наибольшую популярность в области робототехники, поскольку позволяет реализовать автономные самообучающиеся системы без построения сложных математических и динамических моделей управляемых объектов [4 - 6]. Одной из актуальных и наиболее сложных задач является управление локомоцией шагающего мобильного робота [7]. Несмотря на гибкость и очевидные преимущества, применение алгоритмов обучения с подкреплением в робототехнике сопряжено с множеством трудностей [8 - 16]. Одной из наиболее частых проблем является формирование действий, в процессе настройки политики агента, способных привести к поломке дорогостоящего механизма робота за счёт его падения или генерации недопустимых значений углов сочленений. По этой причине, наибольшей популярностью пользуется подход, основанный на предварительном обучении агента в имитационной среде, с последующим переносом обученной стратегии на реальный механизм [8, 9]. Поскольку имитационные среды и используемые в них модели не учитывают множество факторов реального мира, перенос сопряжён с нестабильной работой [8 - 10]. Были осуществлены различные попытки решения сложившихся проблем. К ним относятся: реализация моделирования приводов [11], применение модульного подхода в процессе обучения [12], использование рандомизации предметной области [9, 13], применение усиления обобщения политики, путём добавления шума в среду обучения [14]. Все предложенные идеи сопряжены со значительными временными затратами и наличием множества промежуточных операций. На сегодняшний день существуют несколько успешных демонстраций реализации обучения с подкреплением на реальном роботе без предварительной настройки. Но все они относятся к ограниченным областям [9, 15]. Анализ литературных источников позволил определить, что поиск подхода, обеспечивающего безопасное обучение, на основе взаимодействия робота со средой, без предварительной настройки политики агента в имитационной среде, является актуальной задачей.

1. Постановка задачи и ее особенности

Главной целью основного исследования является разработка адаптивной универсальной системы управления мобильным шагающим роботом с применением алгоритмов глубокого обучения с подкреплением для выполнения определённой локомоторной программы (например, движение прямо) в независимости от формы рельефа местности [17 - 20]. Постановка задачи выглядит следующим образом. Пусть задана некоторая окружающая среда, обладающая разнородным рельефом. В неё помещён шагающий робот, имеющий две конечности или более, состоящие из вращательных звеньев. Механизм взаимодействует со средой, получая награду за каждое действие, и накапливает полученное вознаграждение на протяжении всего процесса функционирования [17 - 20]. Необходимо разработать универсальную адаптивную систему управления шагающим роботом, которая способна автономно формировать стратегию, реализующую

поставленную локомоторную программу, путём использования полученного интерактивного опыта в независимости от формы и типа рельефа [17 - 20].

Объектом настоящего исследования является мобильный шагающий робот с двумя или более подвижными конечностями, состоящими из вращающихся шарниров, приводимых в движение путём использования сервоприводов или поступательных приводов пневматического или гидравлического типов [7]. В качестве предмета исследования выступает общий алгоритм ликвидации критических состояний, возникающих в процессе управления шагающим механизмом при выполнении некоторой локомоторной программы. Под *критическим состоянием* понимается такое, при котором возрастает вероятность повреждения механических узлов робота или потери его устойчивости. Целью данной работы является разработка общего алгоритма ликвидации критических состояний в контексте адаптивного управления шагающим роботом на основе алгоритмов обучения с подкреплением (ОП). Научная новизна заключается в предлагаемом подходе, позволяющем глубокому ОП агенту управлять физическим роботом «напрямую», без предварительной настройки в имитационной среде с последующей реализацией переноса.

2. Формализация задачи управления локомоцией шагающего робота с учётом наличия критических состояний

Поскольку рассматриваемый механизм состоит из вращательных звеньев, управление его движением представляет собой поочерёдное чередование векторов значений их углов. В результате, состояние робота в момент времени t можно представить в виде кортежа следующего вида [17 - 19]:

$$d_t = (\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_N), \quad (1)$$

где N - количество сочленений робота, θ_i - угол i -ого сочленения, d_t - состояние робота в момент времени t .

Совокупность всех возможных кортежей d образует множество состояний робота D .

С другой стороны, система управления шагающей платформой, в контексте планирования и реализации движения, дополнительно должна решать задачу удержания равновесия на каждом шаге. Исходя из этого, управление роботом, вне зависимости от количества имеющихся у него конечностей, можно свести к классической проблеме стабилизации перевёрнутого маятника [17 - 19]. В результате, среди состояний робота возникают два подмножества. Первое G - *безопасные*, и второе B - *неустойчивые*, приводящие к падению механизма, такие, что:

$$D = G \cup B \quad (2)$$

Как ранее упоминалось, каждое действие характеризуется вознаграждением r со стороны окружающей среды, представляющим её реакцию на оказанное воздействие [1]. Так же, результатом выбора агента (системы управления) является факт падения или удержания равновесия, представимый в виде флага f , принимающего значения из множества $F: \{0,1\}$. В результате состояние окружающей среды в момент времени t имеет следующий вид [17 - 19]:

$$s_t = (d_t, f_t, r_t), \quad (3)$$

где d_t - состояние робота в момент времени t , f_t - флаг удержания равновесия в момент времени t , r_t - вознаграждение, полученное в момент времени t .

Совокупность всех возможных кортежей s образует множество всех состояний окружающей среды S .

Исходя из того факта, что позиционирование конечностей робота в момент времени t можно представить в виде картежа из формулы (1), становится возможным определение множества всех допустимых действий механизма. Пусть Δ - некоторая константная добавочная величина приращения угла. Представив состояние робота в виде вектора, длины N , в момент времени t , действием будет являться прибавление или вычитание Δ к углу i -ого сочленения. Так же возможен случай «холостого хода», при котором текущее позиционирование не изменяется в следующий момент времени $t+1$. В результате множество всех возможных действий робота можно представить в виде совокупности векторов, длины N :

$$A: \left\{ \begin{bmatrix} \Delta \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ \Delta \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ \Delta \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -\Delta \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ -\Delta \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ -\Delta \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} \right\}$$

$$|A| = 2N + 1, \quad (4)$$

где N - количество сочленений робота.

Знак, расположенный рядом с Δ в (4), показывает тип арифметической операции. В результате, состояние робота в момент времени $t+1$ имеет следующий вид:

$$d_{t+1} = d_t + a_t, \quad (5)$$

где a_t - выбранное действие в момент времени t , причём $a_t \in A$.

Задача управления шагающим роботом представляет собой непрерывный процесс принятия решений. В классической теории обучения с подкреплением в таких случаях используют некоторую величину T , называемую горизонтом, предназначенную для искусственного разделения процесса взаимодействия механизма со средой на эпизоды [1]. В контексте решаемой задачи, эпизод считается завершённым, если робот стабильно отработал T временных интервалов, потерял равновесие до достижения соответствующего горизонта или агентом была сгенерирована такая конфигурация сочленений, которая повлекла столкновение близлежащих конечностей робота. Исходя из этого, критические состояния можно подразделить на: *несбалансированные* и *травмирующие*. Среди возможных шагающих конфигураций, наибольшим количеством несбалансированных состояний обладает конструкция с двумя конечностями. С ростом числа педипуляторов (ног) возрастает устойчивость платформы, но тем сложнее становится определение факта её падения. При этом вероятность возникновения травмирующих ситуаций растёт пропорционально количеству конечностей. Для определения критических состояний предполагается использование специального аналитического блока. В процессе его реализации необходимо решить две основные задачи: определение факта столкновения конечностей или частей конечности между собой и установление критериев удержания сбалансированного положения во время движения. В биологических системах любая полученная травма сопровождается болевым ощущением, величина которого пропорционально зависит от масштаба

повреждений и нанесённого урона организму. С другой стороны, она выступает в качестве обратной связи, ограничивающей движения конечностей в рамках допустимых положений. Для определения травмирующих состояний необходимо обеспечить работа аналогом тактильной обратной связи, возникающей от механического воздействия. В настоящее время ведутся исследования, связанные с созданием различных тактильных датчиков и искусственных аналогов кожных покровов, обеспечивающих роботов способностью к осязанию [21 - 23]. В контексте основной задачи необходимо фиксировать непосредственный факт касания частей конечности или соседних конечностей. Поэтому сенсорная система осязания упрощена до уровня использования матриц кнопок-концевиков, закреплённых на бедрах и голеньях, обеспечивающих фиксацию касания и последующую генерацию сенсорного сигнала, символизирующего болевое ощущение.

Основным критерием удержания равновесия шагающей платформы, вне зависимости от количества конечностей, выступает расположение проекции точки центра тяжести на поверхность земли внутри многоугольника, образованного путём соединения точек соприкосновения педипуляторов с рабочей поверхностью [24]. При этом учитываются форма и размер ступней. Необходимо, чтобы в процессе движения, проекция центра тяжести не выходила за пределы границ соответствующей безопасной области. В противном случае происходит опрокидывание корпуса. Исходя из этого, к несбалансированным критическим состояниям относятся такие, которые обеспечивают нахождение проекции центра тяжести в некоторой подобласти, входящей в безопасную область, близко расположенной к линии границы многоугольника. В результате, робот, находясь в соответствующем состоянии, находится на грани падения, но по-прежнему удерживает равновесие корпуса. Это позволяет исключить необходимость в применении третьих сторон в процессе обучения для восстановления механизма в рабочее состояние.

В связи с тем, что помимо вероятности падения необходимо учитывать так же возможность травматизации механических узлов, кортеж состояния окружающей среды примет следующий вид:

$$s_t = (d_t, c_t, r_t), \quad (6)$$

где d_t - состояние робота в момент времени t , c_t - флаг возникновения критического состояния в момент времени t , r_t - вознаграждение, полученное в момент времени t .

3. Общий алгоритм ликвидации критических состояний

Основная идея предлагаемого в данной работе алгоритма заключается в моментальном реагировании на возникшее критическое состояние в виде наискорейшего последовательного возврата на k шагов назад по траектории принятия решений, обеспечив агенту пребывание в стабильном безопасном состоянии. Состояния, входящие в подмножество критических, определяются как фиксирующие факт касания соседних конечностей (либо частей конечности) или находящиеся на грани падения, но не допускающие его. Их достижение резко прерывает операцию выбора следующего действия. Поскольку существует необходимость в предотвращении падения или повреждения робота, вводится некоторое фиксированное число шагов k , на которое необходимо обернуть вспять текущее состояние механизма. Использование глубокого обучения с подкреплением подразумевает наличие буфера, накапливающего опыт, полученный в процессе взаимодействия со средой [2, 3]. Благодаря этому можно с лёгкостью получить предыдущее состояние механизма на шаге $t-k$. После возврата в

d_{t-k} , оно рассматривается в качестве стартового и счётчик интервалов времени для определения достижения горизонта T сбрасывается до начального значения. Общий алгоритм ликвидации критических состояний в процессе решения задачи управления локомоцией шагающего робота представлен на рисунке 1.

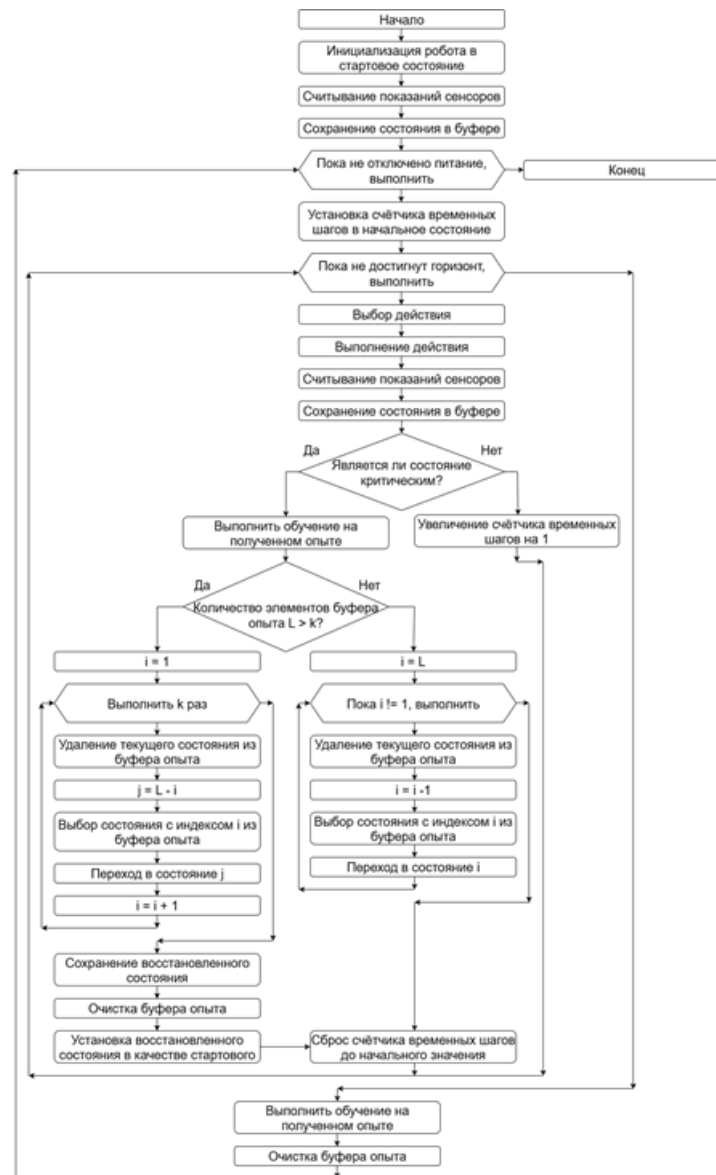


Рисунок 1 – Общий алгоритм ликвидации критических состояний в процессе решения задачи управления локомоцией шагающего робота

Алгоритм является общим, поскольку в нём не отображены детали процесса обучения и реализации операции выбора действия, которые осуществляются с использованием глубокого алгоритма обучения с подкреплением. В качестве стартового состояния выступает стабильная и безопасная конфигурация углов сочленений робота, из которого производится дальнейший выбор альтернативы с последующим выполнением перехода в новое состояние. В случае возникновения критического состояния, если количество элементов, содержащихся в буфере на текущий момент времени t меньше k , то переход осуществляется в стартовое, характерное для соответствующего эпизода. Иначе, производится реконфигурация до состояния d_{t-k} . Важно отметить, что переход на k шагов назад реализуется постепенно, путём перебора всех предыдущих состояний, начиная с пограничного. Необходимо обязательно выполнить обучение до момента реконфигурации, поскольку алгоритму ОП следует запомнить все действия, приведшие к

Метрика	Классический	Предлагаемый
Процент эпизодов без фактического падения	0,83%	85%
Процент полностью завершённых эпизодов	0,83%	0,83%
Максимальная длина эпизода	300	300

Ранее описанный способ организации множества действий, позволяет агенту незначительно изменять конфигурацию механизма. В результате, получается «осторожный» агент, который способен фактически выполнять планирование на практике. К тому же, возврат на k шагов назад позволяет лучше произвести изучение критической в данный момент времени области графа состояний и закрепить «правильный» выбор с минимальным ущербом для устройства. Применение классического подхода предполагает завершение эпизода при возникновении непоправимого состояния, следствием которого является падение. В отличие от него, предлагаемый подход позволяет в значительной степени сузить пространство исследуемых состояний до области безопасных без фактического прерывания процесса взаимодействия робота с окружающей средой. Важно отметить, что данный алгоритм не предназначен для повышения устойчивости и производительности агента, а необходим для формирования безопасного и более автономного процесса обучения на реальном механизме.

Выводы

В контексте настоящего исследования был разработан общий алгоритм ликвидации критических состояний для решения задачи управления локомоцией шагающего робота на базе методов ОП, обеспечивающий обучение агента напрямую «в железе» без предварительной настройки стратегии в среде симуляции. Представлены его основные идеи, применяемые для предотвращения падения механизма и обеспечения стабильной и безопасной работы, на протяжении всего периода функционирования. Рассмотрены преимущества предлагаемого алгоритма и подхода к управлению физическим шагающим роботом в целом, по сравнению с классическим применением ОП напрямую в том же контексте. Сравнение было произведено на реальном двуногом шагающем роботе при выполнении прямолинейного движения по ровной поверхности. Интеллектуальный агент строился на базе проксимальной оптимизации стратегии РРО. В результате сравнительного анализа предлагаемый алгоритм продемонстрировал сто кратный прирост устойчивости механизма.

Библиография

1. Саттон, Р. С. Обучение с подкреплением: Введение. 2-е изд. : Пер. с англ. / Р. Саттон, Э. Барто. – Москва : ДМК Пресс, 2020. – 552 с. : ил. – ISBN 978-5-97060-097-9.
2. Моралес, Мигель. Грокаем глубокое обучение с подкреплением : учебное пособие / М. Моралес. – Санкт-Петербург : Питер, 2023. – 464 с. : ил. – (Серия "Библиотека программиста"). – ISBN 978-5-4461-3944-6.
3. Уиндер, Ф. Обучение с подкреплением для реальных задач / пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2023. – 400 с. : ил. – ISBN 978-5-9775-6885-2.
4. Ришал Харбанс. Грокаем алгоритмы искусственного интеллекта. – СПб.: Питер, 2023. –

368 с.: ил. – (Серия "Библиотека программиста"). – ISBN 978-5-4461-2924-9.

5. Кашко, В. В. Применение методов обучения с подкреплением для реализации движения шагающих роботов / В. В. Кашко, С. А. Олейникова // Современные информационные технологии. Теория и практика. – 2024. – С. 256-262. – EDN: GRDVBI.

6. Кашко, В. В. Анализ методов обучения с подкреплением для управления роботизированными системами / В. В. Кашко, С. А. Олейникова // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. – 2024. – Т. 1. – С. 133-140. – EDN: LTXEUX.

7. Юревич, Е. И. Основы робототехники – 4-е изд., перераб. и доп.: учебное пособие / Е. Юревич. – СПб.: БХВ-Петербург, 2017. – 304 с.: ил. – (Учебная литература для вузов). – ISBN 978-5-9775-3851-0.

8. Y. Shao, Y. Jin, X. Liu, W. He, H. Wang, and W. Yang, "Learning free gait transition for quadruped robots via phase-guided controller," IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 7, no. 2, pp. 1230-1237, 2021.

9. X. B. Peng, M. Andrychowicz, W. Zaremba, and P. Abbeel, "Sim-to-real transfer of robotic control with dynamics randomization," in 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2018, pp. 3803-3810.

10. Gangapurwala, S., Mitchell, A., and Hacoutis, I. Guided constrained policy optimization for dynamic quadrupedal robot locomotion. IEEE Robot. Autom. Lett. 5, 3642-3649, 2020. doi: 10.1109/LRA.2020.2979656. – EDN: ZSVETN.

11. Hwangbo, J., Lee, J., Dosovitskiy, A., Bellicoso, D., Tsounis, V., Koltun, V., and Hutter, M. Learning agile and dynamic motor skills for legged robots. Science Robotics. 4, eaau5872, 2019. 10.1126/scirobotics.aau5872.

12. F. Zhang, J. Leitner, M. Milford, and P. Corke, "Modular deep Q networks for sim-to-real transfer of visuo-motor policies," arXiv preprint arXiv:1610.06781, 2016.

13. J. Tobin, R. Fong, A. Ray, J. Schneider, W. Zaremba, and P. Abbeel, "Domain randomization for transferring deep neural networks from simulation to the real world," in 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2017, pp. 23-30.

14. K. Cobbe, O. Klimov, C. Hesse, T. Kim, and J. Schulman, "Quantifying generalization in reinforcement learning," arXiv preprint arXiv:1812.02341, 2018.

15. Smith, L., Kew, J., Li, T., Luu, L., Peng, X., Ha, S., Tan, J., and Levine, S. Learning and Adapting Agile Locomotion Skills by Transferring Experience. 2023. 10.48550/arXiv.2304.09834.

16. L. Han, Q. Zhu, J. Sheng, C. Zhang, T. Li, Y. Zhang, H. Zhang, Y. Liu, C. Zhou, R. Zhao et al., "Lifelike agility and play on quadrupedal robots using reinforcement learning and generative pretrained models," arXiv preprint arXiv:2308.15143, 2023.

17. Кашко, В. В. Математическая модель универсальной системы управления шагающим роботом на основе методов обучения с подкреплением / В. В. Кашко, С. А. Олейникова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2024. – Т. 12. – № 1(44). – С. 12. – DOI: 10.26102/2310-6018/2024.44.1.025. – EDN: HBSQBB.

18. Kashko, V. V. Formalization of the task of controlling the movement of a walking robot / V. V. Kashko, S. A. Oleinikova // Anthropocentric sciences in education: challenges, transformations, resources. – 2024. – P. 342-345. – EDN: ASVCIB.

19. Кашко, В. В. Формализация задачи управления шагающим роботом на основе алгоритмов обучения с подкреплением / В. В. Кашко, С. А. Олейникова // Интеллектуальные информационные системы. Труды Международной научно-практической конференции. Воронеж. – 2025. – С. 243-247.

20. Кашко, В. В. Обобщённый алгоритм решения задачи управления шагающим роботом на базе интеллектуального агента с использованием методов глубокого обучения с подкреплением / В. В. Кашко, С. А. Олейникова // Научная опора Воронежской области.

- Сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. Воронеж. – 2025. – С. 155-158. – EDN: OOTOMR.
21. Pestell, N., Griffith, T., Lepora, N. F. Artificial SA-I and RA-I afferents for tactile sensing of ridges and gratings. J. R. Soc. Interface. 19: 20210822, 2022.
<https://doi.org/10.1098/rsif.2021.0822>. – EDN: QHNGNT.
22. Юревич, Е. И. Сенсорные системы в робототехнике : учеб. пособие / Е. И. Юревич. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 100 с.
23. Lecture 5: Совместное развитие сенсорики и робототехники. [Электронный ресурс]: издание официальное. Москва : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2024. URL : <https://intuit.ru/en/studies/courses/22789/1324/lecture/33070?page=5> – Дата публикации: 07.10.2024.
24. Самойлова, А. С. Система управления шагающим роботом, адаптивным к изменению кинематической схемы / А. С. Самойлова, С. А. Воротников // Мехатроника, автоматизация, управление. – Москва : Новые технологии, 2021. – Т. 22 : Роботы, мехатроника и робототехнические системы – № 11. – С. 601-609. – DOI: 10.17587/mau.22.601-609. – EDN: RHGNTJ.
25. Сиволобов, С. В. Математическое моделирование походки человека на основе пятизвенной модели антропоморфного механизма с использованием методов оптимизации / С. В. Сиволобов // Математическая физика и компьютерное моделирование. – 2024. – Т. 27. – № 1. – С. 62-85. – doi:10.15688/mpcm.jvolsu.2024.1.5. – EDN: AUNGZ.

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Статья посвящена разработке общего алгоритма ликвидации критических состояний в процессе управления локомоцией реального шагающего робота с применением методов глубокого обучения с подкреплением. Предметом исследования выступает проблема обеспечения устойчивости и предотвращения повреждений робототехнических механизмов при обучении агентов напрямую «в железе», без предварительной настройки в имитационной среде. Авторы формулируют задачу в строгих математических терминах, определяют класс критических состояний и предлагают алгоритм, который позволяет оперативно возвращать систему в безопасное состояние, обеспечивая непрерывность процесса обучения.

Методология исследования сочетает теоретическую формализацию задачи с экспериментальной проверкой. В работе разработан алгоритм, основанный на анализе состояний и возврате на несколько шагов назад по траектории решений, что позволяет избежать разрушительных сценариев. Экспериментальная часть выполнена на двуногом роботе с использованием метода проксимальной оптимизации стратегии, где были сопоставлены результаты классического подхода и предложенного метода. Такой комплексный подход обеспечивает научную обоснованность и практическую достоверность полученных результатов.

Актуальность исследования обусловлена ростом интереса к созданию автономных робототехнических систем, способных функционировать в реальных условиях без длительной предварительной настройки в симуляционных средах. Предлагаемый алгоритм позволяет существенно повысить уровень безопасности и автономности при обучении шагающих роботов, что делает работу значимой для развития современной

робототехники и интеллектуальных систем управления.

Научная новизна статьи заключается в предложении универсального подхода к ликвидации критических состояний, который обеспечивает безопасное взаимодействие агента с реальной аппаратной платформой. Авторы подчеркивают, что алгоритм не направлен на повышение производительности агента в классическом смысле, но создает условия для более надежного и устойчивого обучения без риска повреждения механизма. Такой взгляд расширяет существующие представления о применении методов глубокого обучения с подкреплением в робототехнике.

Стиль изложения отличается ясностью и академической строгостью. Работа имеет четко выстроенную структуру: от введения и постановки задачи к формализации, описанию алгоритма, экспериментальной проверке и выводам. Текст логичен, аргументация последовательна, результаты представлены убедительно. Библиография обширна и охватывает как фундаментальные труды в области обучения с подкреплением, так и современные исследования в робототехнике, что свидетельствует о глубокой проработке темы и опоре на актуальные источники.

Содержание статьи представляет интерес как для специалистов в области искусственного интеллекта и робототехники, так и для более широкой аудитории исследователей, работающих над проблемами автономных систем и управления сложными объектами. Авторский подход демонстрирует не только высокую исследовательскую культуру, но и стремление к практической применимости разработок. В заключение отмечу, что статья отличается высокой степенью актуальности, оригинальностью предложенного решения и качеством его экспериментальной проверки. Работа вносит заметный вклад в развитие методов безопасного применения глубокого обучения с подкреплением в управлении реальными робототехническими системами и может быть рекомендована к публикации без доработки.

Программные системы и вычислительные методы

Правильная ссылка на статью:

Скляр А.Я. Модели и алгоритмы нелинейного регрессионного анализа временных рядов // Программные системы и вычислительные методы. 2025. № 3. DOI: 10.7256/2454-0714.2025.3.75317 EDN: OPDYKY URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=75317

Модели и алгоритмы нелинейного регрессионного анализа временных рядов

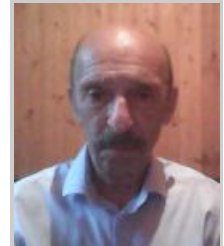
Скляр Александр Яковлевич

кандидат технических наук

доцент; кафедра прикладная математика; Российский технологический университет (МИРЭА)

119602, Россия, г. Москва, Вернадского, 78

✉ askliar@mail.ru



[Статья из рубрики "Системный анализ, поиск, анализ и фильтрация информации"](#)

DOI:

10.7256/2454-0714.2025.3.75317

EDN:

OPDYKY

Дата направления статьи в редакцию:

27-07-2025

Аннотация: Анализ данных, описывающих те или иные объекты и процессы предназначен, прежде всего, для нахождения зависимостей внутри них и выявления динамики их развития. Целями анализа и прогнозирования является подготовка материалов для принятия обоснованных решений. В данной работе рассматриваются этапы, методы и алгоритмы проведения анализа, направленные на получение, в первую очередь, функциональных зависимостей, пригодных не только для описания, но и прогнозирования поведения изучаемых объектов и процессов. Сам анализ рассматривается как многоэтапный процесс, включающий подготовку данных, выявление и удаление по возможности шума в данных, нахождение долгосрочного тренда, выявление колебательной составляющей, периодичности колебаний, оценку динамики амплитуд колебаний, оценка точности возможной аппроксимации процесса и возможности его прогнозирования с учетом уровня зашумленности данных. Предложен ряд процедур, обеспечивающих обоснованную проверку гипотез о ходе процессов и получение аналитических, в том числе и дифференциальных зависимостей на основе методов оптимизации подбора параметров нелинейных зависимостей. Рассмотренные

методы позволяют проводить достаточно объективный анализ данных и создают условия для построения обоснованного прогноза. Проведен численный анализ по данным многолетней статистики динамики производства. Научная новизна исследования заключается в разработке методики декомпозиции процесса на трендовые и колебательные компоненты. В отличие от большинства существующих исследований анализа динамики процессов большое внимание уделяется учету и оценке уровня шума с определением пределов точности получаемых результатов и, тем более, прогнозов, что позволяет избегать необоснованных выводов и решений и построения «слишком» точных результатов на основе недостаточно точных исходных данных, исходя из требований гладкости функции при имеющемся уровне шума. Использование функций ограниченного роста и выявление точек смены тренда позволяет проводить корректное качественное долгосрочное прогнозирование без необоснованного предсказания катастрофического хода изучаемого процесса. Полученные результаты позволяют получить аналитическое выражение изучаемых, прежде всего экономических процессов, что позволяет не только аппроксимировать поведение процесса, но и выявлять его физическую сущность и, соответственно использовать полученные решения на целый класс процессов аналогичной природы.

Ключевые слова:

анализ данных, временной ряд, удаление шума, долгосрочный тренд, оценка точности, аппроксимация данных, нелинейная регрессия, проверка гипотез, ограниченный рост, анализ колебаний

Введение

Анализ статистических данных предназначен, прежде всего для выявления внутренних зависимостей. Применительно к данным, представленным во временном ряде – это выявление динамики развития характеристики процесса, описываемого этими данными. Большинство процессов, прежде всего экономических, являются непрерывными. Их характеристики могут меняться в достаточно широких, но всегда ограниченных диапазонах. Сами данные во временных рядах, описывающих процесс дискретны и подвержены влиянию случайных факторов начиная с ошибок измерения и различных внешних неконтролируемых возмущений. В этих условиях задача анализа распадается на ряд поэтапно решаемых подзадач.

Выделим основные этапы:

удаление шума (случайных возмущений);

нахождение долговременного тренда;

выявление колебательной составляющей;

оценка динамики амплитуд колебаний;

оценка точности возможной аппроксимации процесса и возможности его прогнозирования с учетом уровня зашумленности данных; следует всегда помнить, что точность прогноза ни при каких обстоятельствах не может быть выше уровня шума.

В случаях, когда процессы описываются набором дискретных состояний, обработка должна строиться на выделении точек перехода с использованием иного инструментария.

К основным методам, широко используемым в настоящее время, относятся методы, основанные на использовании деревьев решений [1, 2], кластерного анализа [3], нейронных сетей [4]. Основы этих методов описаны и в учебной литературе, например, в учебнике М.Ю. Мошкова (Мошков М. Ю. Деревья решений. Теория и приложения. Нижний Новгород. Изд. Нижегородского ун. 1994. 176 с.).

Оценка и удаление шума в данных

Анализ и обработка зашумленных данных вызывает значительные трудности. Возникает задача устранения, по возможности, такого шума. Для устранения такого шума используются различные методы сглаживания, такие, как методы скользящей средней, экспоненциального сглаживания и др. (Эконометрика. Учебник / Под ред. Елисеевой И. И. — 2-е изд. — М.: Финансы и статистика, 2006. — 576 с. — ISBN 5-279-02786-3), а также методы полиномиального сглаживания, прежде всего Савицкого – Галея [5].

Обозначим значения аргумента (временные отрезки) через x_i , соответствующие им наблюдаемые значения через y_i , предполагаемую функцию «истинной» зависимости – $f(x)$. Далее будем рассматривать случай, когда исходные данные задаются с постоянным шагом h и $x_{i+1}=x_i+h$.

Тогда наблюдаемые данные можно представить в виде $y_i=f(x_i)+s_i$, где s_i – шум.

Функцию $f(x)$ будем считать k раз дифференцируемой, тогда ее производная может быть вычислена как

$$f'(x) = \frac{f(x+h) - f(x-h)}{2h} - r$$

Здесь r – систематическая ошибка

$$r = \frac{h^2}{3!} f'''(x) + \dots + \frac{h^{2k}}{(2k+1)!} f^{(2k+1)}(x + \theta h)$$

Взяв значения функции в нескольких последовательных точках, можно показать, что всегда существует набор величин λ_i таких, что

$$\sum_{i=-t}^{k+t-1} \lambda_i f(x_{m+i}) = O(f^{(k-1)}(x_m) \Delta x^{k-1}) \quad (1)$$

В частности, при равномерном шаге при $k=3, 4, 5$ получим наборы λ_i (1, -2, 1), (-1, 3, -3, 1), (1, -4, 6, -4, 1) соответственно, что соответствует численным выражениям для 2, 3 и 4 производных [6, 7]. Отклонение от 0 таких сумм для любых слабо осциллирующих функций пренебрежимо мало.

Рассмотрим

$$\sum_{i=-t}^{k+t-1} \lambda_i y_{m+i} = \sum_{i=-t}^{k+t-1} \lambda_i f(x_{m+i}) + \sum_{i=-t}^{k+t-1} \lambda_i s_{m+i} \approx \sum_{i=-t}^{k+t-1} \lambda_i s_{m+i} \quad (2)$$

Величины s_i – независимые случайные числа с нулевым математическим ожиданием.

Среднеквадратичное значение σ для s можно получить

$$\left(\sum_{i=-t}^{k+t-1} \lambda_i y_{m+i} \right)^2 \approx \left(\sum_{i=-t}^{k+t-1} \lambda_i s_{m+i} \right)^2 = \sigma^2 \sum_{i=-t}^{k+t-1} \lambda_i^2 \quad (3)$$

При 5 точечной схеме это дает с равномерным шагом это дает значение $70\sigma^2$. Просуммировав эти величины по n точкам ряда, получим значение D , где $D=70n\sigma^2$, откуда $\sigma^2=D/70n$. Таким образом получаем объективную оценку уровня шума в данных.

Определить значения s_i , а значит и f_i можно решением

$$F(s) = \sum_{m=3}^{n-2} \left(\sum_{k=-2}^2 \lambda_{k,m} (y_{k+m} - s_{k+m}) \right)^2 \rightarrow \min; \sum_{k=1}^n s_i^2 = n\sigma^2 \quad (4)$$

Полученное решение дает сглаженный ряд, представляющий максимально близкую к исходному гладкую функцию, что позволяет использовать не только входные данные, но и их производные [6, 7].

Нахождение долговременного тренда

Говоря о тренде $u(t)$, обычно понимают некоторое усреднение данных $f(t)$ в той или иной мере приближающееся к конструкции $u(t) = \frac{1}{T} \int_{t-T/2}^{t+T/2} f(x) dx$. Здесь T задает промежуток усреднения, определяя характер тренда. На практике обычно применяют методики скользящего среднего или многократного скользящего выравнивания. Проблемой подобных методов помимо их зависимости от способа выравнивания является отсутствие сколько-нибудь явной аналитической зависимости.

Альтернативой такому подходу является проверка соответствия исходных данных некоторой теоретической кривой $u(x, p_1, \dots, p_k)$ с набором параметров. Задача состоит в подборе этих параметров на основе, например, метода наименьших квадратов.

$$\sum (y(x_i) - u(x_i, p_1, \dots, p_k))^2 \rightarrow \min$$

Эта задача сводится к решению системы уравнений

$$\sum (y(x_i) - u(x_i, p_1, \dots, p_k)) \frac{\partial u}{\partial p_j} = 0$$

В общем случае это система из k нелинейных уравнений, решение которых достаточно затруднительно. Система становится линейной только, когда функция u линейна по всем своим параметрам, например, когда u полином от x . Такая конструкция может с какой угодно точностью аппроксимировать исходные данные, но «дальний» прогноз на ее основе теряет смысл, поскольку он в зависимости от знака старшего коэффициента стремится либо к $+\infty$, либо к $-\infty$.

В ряде случаев преобразование системы координат (анаморфоза) позволяет выстроить исследуемые данные в линейную зависимость. Например, переход в логарифмические или полулогарифмические координаты линеаризует экспоненциальную, степенную и логарифмическую зависимости [8]. Последнее, к сожалению, возможно лишь когда целевая переменная не меняет свой знак.

Более эффективные результаты можно получить, если данные исходного ряда дифференцируемы, что может быть достигнуто, например, описанной выше процедурой удаления шума.

Для природных и, прежде всего, экономических процессов, функционирующих в относительно постоянных условиях, характерно асимптотическое стремление к некоторому уровню. Такие процессы естественным образом описываются моделями ограниченного роста. Рассмотрим такие процессы и методы определения их параметров.

Дифференциальные методы.

Экспоненциальное приближение к постоянной $y = a + be^{-kt}$.

$$y' = -kbe^{-kt} = -k(y - a) = \left| k^* = \frac{1}{k} \right|; k^*y' - a = -y \quad (5)$$

Здесь параметры a и k^* входят линейно и, подставляя исходные значения ряда в y и y' методом наименьших квадратов находим требуемые параметры, причем знак и наличие колебаний в исходных данных не являются препятствием. Зная параметры a и k из соотношения $y = a + be^{-kt}$ находим параметр b .

Гиперболическое приближение к постоянной $y = a + b/(x+c)$.

$$y' = -\frac{b}{(x+c)^2}; y'' = 2\frac{b}{(x+c)^3} = \frac{-2y'}{x+c}; y''x + cy'' = -2y' \quad (6)$$

Отсюда последовательно находим параметр c и далее a и b .

Либо без использования высших производных

$$y' = -\frac{b}{(x+c)^2} = -\frac{1}{x+c} \frac{b}{x+c} = \frac{-(y-a)}{x+c}; cy' - a + (xy' + y) = 0 \quad (7)$$

Модель Гомперца $y'/y = ae^{-kx}$; $y = y_{\infty}e^{as^{-kx}}$

$$u = \frac{y'}{y}; u = ae^{-kx}; u' = -kae^{-kx} = -ku \quad (8)$$

Отсюда последовательно находим параметр k и далее a , и y_{∞} .

Сигмоидальные модели $y = a + \frac{b}{e^{-k(x-c)} + 1}$; $y = a + \frac{b(x-c)}{k|x-c|+1}$; $y = a + \frac{b(x-c)}{\sqrt{k^2(x-c)^2+1}}$; $y = a + \text{barctg}(k(x-c))$ и т.п. с тем свойством, что их графики обладают центральной симметрией относительно точки $(c, y(c))$.

Точку c можно найти минимизацией $f(c)$

$$f(c) = \frac{1}{h} \sum_{i=1}^h ((y_{c+i} - y_c^*) - (y_c^* - y_{c-i}))^2 = \frac{1}{h} \sum_{i=1}^h (y_{c+i} + y_{c-i} - 2y_c^*)^2 \quad (9)$$

В качестве y_c^* можно принять $y_c^* = y_c$ или предпочтительней $y_c^* = \frac{1}{2h+1} \sum_{i=-h}^h y_{c+i}$

После этого переход к $z = y - y_c^*$ сигмоиду с нулем в точке c .

Так для классической экспоненциальной сигмоиды получим $z = bth(k(x-c))$.

$$z' = bk \frac{ch^2(k(x-c)) - sh^2(k(x-c))}{ch^2(k(x-c))} = bk(1 - th^2(k(x-c))) = bk(1 - \left(\frac{z}{b}\right)^2)$$

$$\frac{1}{bk} z' = 1 - \frac{1}{b^2} z^2 \quad (10)$$

И введя $p=1/bk$, $q=1/b^2$ получим $pz' + qz^2 - 1 = 0$. Откуда методом наименьших квадратов находятся параметры p и q и, следовательно a и b .

Интегральные методы.

В ряде случаев дифференциальные методы плохо применимы из-за высокого уровня погрешностей при вычислении производных, особенно высших порядков. В то же время аналогичный подход вполне реализуем при замене производных соответствующими интегралами.

Рассмотрим экспоненциальное приближение к постоянной $y=a+be^{-kt}$.

Введем

$$Y = \int_0^x y dx = \int_0^x (a + be^{-kx}) dx = ax + \frac{b}{k} - \frac{1}{k} be^{-kx} = ax + \frac{b}{k} - \frac{1}{k}(y - a) \quad (11)$$

$$Y = ax + \frac{b+a}{k} - \frac{1}{k}y = ax + c - k^*y; k = \frac{1}{k^*}; b = ck - a \quad (12)$$

Получение Y численным интегрированием исходных данных не вызывает никаких проблем и легко реализуется стандартными методами, например средствами Excel и следом выполнив нахождение параметров a , k и b методом наименьших квадратов получим требуемую линию тренда.

Аналогично можно построить и алгоритмы для других гипотез для нахождения линий тренда. Существенным здесь является тот факт, что данная методика применима для любых данных вне зависимости от наличия в них колебаний.

Характеристические показатели

Параметры моделей ограниченного роста могут быть оценены на основе набора характеристических интегральных показателей выдвигаемой гипотезы.

Экспоненциальное приближение к постоянной

Для унификации расчетов линейно преобразуем интервал изменения аргумента к интервалу [\[0, 1\]](#).

Простая экспонента

$$y = be^{-kt} \quad (t \in [0, 1])$$

$$S_0 = \int_0^1 be^{-kt} dt = -\frac{b}{k} e^{-kt} \Big|_0^1 = \frac{b}{k} (1 - e^{-k})$$

$$S_1 = \int_0^1 bte^{-kt} dt = -b \left(\frac{x}{k} + \frac{1}{k^2} \right) e^{-kt} \Big|_0^1 = \frac{b}{k} \left(\frac{1}{k} - \left(1 + \frac{1}{k} \right) e^{-k} \right)$$

$$L = \frac{S_1}{S_0} = \frac{1 - e^{-k}}{\frac{1}{k} - \left(1 + \frac{1}{k} \right) e^{-k}} \quad (13)$$

Значения $L(k)$ табулируются. После этого нахождение $k(L)$ не вызывает проблем. Далее находим $b = S_0 k(L) / (1 - e^{-k})$

Смещенная экспонента

$$y = a + be^{-kt} \quad (t \in [0, 1])$$

$$S_0 = \int_0^1 (a + be^{-kt}) dt = at - \frac{b}{k} e^{-kt} \Big|_0^1 = a + \frac{b}{k} (1 - e^{-k})$$

$$S_1 = \int_0^1 (a + be^{-kt}) t dt = \frac{at^2}{2} - b \left(\frac{t}{k} + \frac{1}{k^2} \right) e^{-kt} \Big|_0^1 = \frac{a}{2} + \frac{b}{k} \left(\frac{1}{k} - \left(1 + \frac{1}{k} \right) e^{-k} \right)$$

$$S_2 = \int_0^1 (a + be^{-kt}) t^2 dt = \frac{at^3}{3} - b \left(\frac{t^2}{k} + \frac{2t}{k^2} + \frac{2}{k^3} \right) e^{-kt} \Big|_0^1 = \frac{a}{3} + \frac{b}{k} \left(\frac{2}{k} - \left(1 + \frac{4}{k} \right) e^{-k} \right)$$

$$\begin{cases} S_0 - 3S_2 = \frac{b}{k} (1 - e^{-k}) - 3 \frac{b}{k} \left(\frac{2}{k} - \left(1 + \frac{4}{k} \right) e^{-k} \right) = \frac{b}{k} \left(1 - \frac{6}{k} - \left(4 + \frac{12}{k} \right) e^{-k} \right) \\ S_0 - 2S_1 = \frac{b}{k} (1 - e^{-k}) - 2 \frac{b}{k} \left(\frac{1}{k} - \left(1 + \frac{1}{k} \right) e^{-k} \right) = \frac{b}{k} \left(1 - \frac{2}{k} - \left(3 + \frac{2}{k} \right) e^{-k} \right) \end{cases}$$

$$L = \frac{S_0 - 3S_2}{S_0 - 2S_1} = \frac{1 - \frac{6}{k} - \left(4 + \frac{12}{k} \right) e^{-k}}{1 - \frac{2}{k} - \left(3 + \frac{2}{k} \right) e^{-k}} = \frac{k - 6 + (4k + 12)e^{-k}}{k - 2 + (3k + 2)e^{-k}} \quad (14)$$

Значения $L(k)$ табулируются. После этого нахождение $k(L)$ не вызывает проблем. Далее находим

$$b = \frac{k(S_0 - 2S_1)}{1 - \frac{2}{k} - \left(3 + \frac{2}{k} \right) e^{-k}} \quad (15)$$

$$a = S_0 - \frac{b}{k} (1 - e^{-k}) \quad (16)$$

Модель Гомперца $y'/y = ae^{-kx}$; $y = y_\infty e^{a e^{-kx}}$.

$u = y'/y = ae^{-kx}$ представляет собой простую экспоненту, а ее параметры без дальнейшего дифференцирования получаются по приведенному выше методу.

Сигмоидальные модели

$$y = a + \frac{b(x-c)}{|x-c|+1}; \quad y = a + \frac{b(x-c)}{\sqrt{(x-c)^2+1}}; \quad y = a + \text{barctg}(k(x-c))$$

Находим точку центральной симметрией сигмоидальной модели $(c, y(c))$ y_c^* и переходим к $z = y - y_c^*$ – сигмоиде с нулем в точке c .

Для первого случая получим

$$z = \frac{b(x-c)}{k|x-c|+1}; \quad kz|x-c| - b(x-c) + z = 0 \quad (17)$$

Поскольку z и c известны, то методом наименьших квадратов находятся параметры b и k .

Для второго случая получим

$$z = \frac{b(x-c)}{\sqrt{k^2(x-c)^2+1}}; \quad z^2 = \frac{b^2(x-c)^2}{k^2(x-c)^2+1}; \quad |b^2 = b^*, k^2 = k^*|$$

$$k^* z^2 (x-c)^2 - b^* (x-c)^2 + z^2 (x-c)^2 = 0 \quad (18)$$

Поскольку z и c известны, то методом наименьших квадратов находятся параметры b^* и k^* и, следовательно b и k .

Для третьего случая получим

$$z = \text{barctg}(k(x-c)); z' = \frac{bk}{k^2(x-c)^2 + 1}; |bk = b^*, k^2 = k^*|$$

$$k^* z'(x-c)^2 - b^* + z' = 0 \quad (19)$$

Поскольку z , z' и c известны, то методом наименьших квадратов находятся параметры b^* и k^* и, следовательно b и k .

Нахождение технического тренда

Рассматриваемые выше методы выявления тренда основаны на проверке их соответствия исходных данным выдвинутым ранее некоторым гипотезам. Альтернативой являются чисто технические методы удаления колебаний (варианты скользящей средней). Пусть $y(t) = f(t) + g(t)$, где $g(x)$ описывает колебательный процесс с периодом T вокруг 0, а $f(t)$ – тренд, тогда можно ввести понятие Т-тренда $u(t)$.

$$u(x) = \frac{1}{T} \int_{x-\frac{T}{2}}^{x+\frac{T}{2}} y(t) dt = \frac{1}{T} \int_{x-\frac{T}{2}}^{x+\frac{T}{2}} (f(t) + g(t)) dt = \frac{1}{T} \int_{x-\frac{T}{2}}^{x+\frac{T}{2}} f(t) dt \quad (20)$$

И принять функцию $u(x)$ за линию тренда. При этом необходимо помнить, что $u(t)$ дает систематическое отклонение от $f(t)$.

Представим

$$f(t) = f(x) + \sum_{k=1}^m \frac{f^{(k)}(x)}{k!} t^k,$$

Тогда

$$u(x) \approx \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \left(f(x) + \sum_{k=1}^{2m} \frac{f^{(k)}(x)}{k!} t^k \right) dt = f(x) + \frac{1}{T} \sum_{k=1}^{2m} \frac{f^{(k)}(x)}{(k+1)!} t^{k+1} \Big|_{-T/2}^{T/2}$$

$$= f(x) + \frac{2}{T} \sum_{k=1}^m \frac{f^{(2k)}(x) T^{2k+1}}{(k+1)! 2^{2k+1}} = f(x) + \sum_{k=1}^m \frac{f^{(2k)}(x) T^{2k}}{(k+1)! 2^{2k}}$$

$$u(x) \approx f(x) + \frac{f''(x) T^2}{24} \quad (21)$$

Для оценки среднего значения $f''(t)$ введем функцию вида $ax^2 + bx + c$ аппроксимирующую исходную на интервале $x - T/2 \leq t \leq x + T/2$. Она имеет постоянную вторую производную, значение которой будем принимать за среднее значение $f''(t)$.

Ортогональные полиномы до второй степени на интервале $[-h, h]$ ($h = T/2$) имеют вид: $p_0 = 1$; $p_1 = t$; $p_2 = t^2 - h^2/3$.

Коэффициент при второй степени аппроксимирующего полинома

$$\alpha = \frac{\int_{-h}^h y(x+t) p_2(t) dt}{\int_{-h}^h p_2^2(t) dt} = f''(\theta)/2$$

$$\int_{-h}^h (t^2 - h^2/3)^2 dt = \frac{t^5}{5} - \frac{2t^3}{3} \frac{h^2}{3} + t \frac{h^4}{9} \Big|_{-h}^h = 2h^5 \left(\frac{1}{5} - \frac{1}{9} \right) = \frac{8h^5}{45} = \frac{T^5}{180}$$

$$f''(\theta) = \frac{360}{T^5} \int_{-T/2}^{T/2} y(x+t)p_2(t)dt$$

Соответственно, исправленное значение

$$f(x) \approx u(x) - \frac{f''(x)T^2}{24} = u(x) - \frac{15}{T^5} \int_{-T/2}^{T/2} y(x+t)p_2(t)dt \quad (22)$$

Нахождение колебаний

Колебания можно рассматривать, как разность между исходными данными и трендом. Анализ колебаний включает выявление их частотных и амплитудных составляющих, однако амплитуда колебаний может естественным образом зависеть от величины измеряемой характеристики.

Альтернативой для выявления колебательных процессов являются методы удаления тренда. В основе их лежит построение функции $u(f(t))$, которая поглощает трендовую составляющую $f(t)$ при сохранении ее колебательной составляющей [9, 10]. Примером такой функции может служить $u(t)=f(t+h)-2f(t)+f(t-h)$. В самом деле, пусть на некотором интервале $a \leq t \leq b$ представима в виде $f(t)=(pt+q)+g(x)$, где $g(x)$ описывает колебательный процесс вокруг 0. В этом случае $u(t)=f(t+h)-2f(t)+f(t-h)=g(t+h)-g(t)+g(t-h)$ и $u(t)$ не содержит трендовой составляющей, но сохраняет колебательные составляющие. Еще один вариант функции $u(t)=f(t+h)f(t-h)/f(t)^2$ или $u(t) = \ln \left(\frac{f(t+h)f(t-h)}{f(t)^2} \right)$, обеспечивающий удаление экспоненциального тренда. Отметим, что последний вариант сводится к линейному переходом в полулогарифмические координаты $F(t)=\ln(f(t))$.

Определение периодов колебаний функции $u(t)$ может быть выполнено, например, на основе быстрого преобразования Фурье или с использованием сдвиговой функции Альтера – Джонсона.

К сожалению, функции $u(t)$ заметно искажают амплитуды колебательных процессов. Пусть $f(t)=(pt+q)+g(x)=(pt+q)+A\sin(2\pi t/T+\varphi)$. В этом случае

$$\begin{aligned} u(t) &= A \left(\sin \left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi + \frac{2\pi}{T}h \right) + \sin \left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi - \frac{2\pi}{T}h \right) - 2\sin \left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi \right) \right) \\ &= A \left(2\sin \left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi \right) \cos \left(\frac{2\pi}{T}h \right) - 2\sin \left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi \right) \right) \\ &= 2A \left(\cos \left(\frac{2\pi}{T}h \right) - 1 \right) \sin \left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi \right) = 4A \sin^2 \left(\frac{\pi h}{T} \right) \sin \left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi \right) \\ u(t) &= 4A \sin^2 \left(\frac{\pi h}{T} \right) \sin \left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi \right) \end{aligned} \quad (23)$$

Таким образом амплитуда колебаний $B(T)=4A\sin^2(\pi h/T)$ при $T \ll h$ превращается в практически генератор случайных чисел, при $T \gg h$ стремится к 0. В этих условиях достоверное определение периодов колебаний возможно только для ограниченного диапазона длин этих периодов.

Пусть исходный процесс описывается функцией $y(t)$, тренд – функцией $U(t)$, тогда

колебательная составляющая представима в виде $\Phi(t)=y(t)-U(t)$. Для оценки тренда амплитуды можно воспользоваться функцией $Z(t)=|\Phi(t)|$, усреднение которой дает величину, пропорциональную амплитуде (или $Z(t)=\Phi^2(t)$ пропорциональную квадрату амплитуды). Для получения собственно линии тренда можно воспользоваться предварительным ее усреднением по периоду T колебаний $Z(t)$, либо по представлению $R(t)=\frac{1}{T}\int_{x-T/2}^{x+T/2} Z(x)dx$, либо используя алгоритм удаления шума, описанный выше, где за величину шума $s(t)$ в точке t принимается $s(t)=Z(t)-R(t)$. В последнем случае не происходит явная потеря концов интервала, хотя точность на концах, конечно, получается невысокой. Полученное выражение $A(t)$ пригодно для аналитической аппроксимации либо непосредственно, либо как отношение $A(t)/U(t)$, либо как сумма вида $a+bU(t)$, где a и b некоторые константы, а $U(t)$ – тренд характеристики. После этого колебание $\Phi(t)$ представимо в виде $\Phi(t)=A_T(t)\varphi(t)$.

Здесь $A_T(t)$ – тренд амплитуды, а $\varphi(t)$ представляет колебания с почти постоянной амплитудой и может быть относительно успешно представлена аналитическим выражением.

Функция, описывающая развитие процесса во времени роста (темпов развития) в принятых обозначениях представима в виде

$$y = U(t) + A_T(t)(a + bU(t))\varphi(t) \quad (24)$$

или для темпов

$$\frac{y'}{y} = U(t) + (a + bU(t))\varphi(t)$$

$$y = y_{\infty} e^{U(t) + (a + bU(t))\varphi(t)} \quad (25)$$

Анализ колебательной составляющей $\varphi(t)$ можно проводить на основе ее представления в виде суммы нескольких простых периодических колебаний. Периоды этих колебаний можно определить на основе применения дискретного преобразования Фурье (ДПФ), нахождения минимумов сдвиговой функции или простым подбором гармонических колебаний.

Для сдвиговой функции (функция Джонсона) [9] $p(\tau)$ определяются ее локальные минимумы, соответствующие предполагаемым почти периодам в исходном временном ряде. Значения $p(\tau)$ определяются из

$$p(\tau) = \frac{1}{n-\tau} \frac{1}{y_{\max} - y_{\min}} \sum_{i=1}^{n-\tau} |y_{i+\tau} - y_i| \quad (26)$$

Подбор гармонических колебаний осуществляется минимизацией функции $R(T_1, T_2, \dots)$ по параметрам T_1, T_2, \dots . $R(T_1, T_2, \dots)$ из минимизации

$$R(T_1, T_2, \dots) = \min_{a_k, b_k} \sum_{k=0}^n \left(\varphi(x_k) - \sum_k \left(a_k \sin\left(\frac{2\pi}{T_k} x_k\right) + b_k \sin\left(\frac{2\pi}{T_k} x_k\right) \right) \right)^2 \quad (27)$$

В ряде случаев, например при анализе темпов развития процесса, то есть величин вида y'/y с несимметричными колебаниями вокруг 0 прямое нахождение тренда, отличного от линейного может оказаться затруднительным. В этом случае оказывается целесообразным предварительное определение технического тренда с усреднением по периоду колебаний, а затем построение уже на нем аналитического тренда в

соответствии с выдвинутой гипотезой.

Численная реализация

Рассмотрим предлагаемые методы на примере – статистике производства товаров длительного пользования в США за 1947-2016 годы (Bureau of Economic Analysis, United States Department of Commerce. https://www.bea.gov/sites/default/files/2018-04/GDPbyInd_VA_1947-2017.xlsx). Соответствующие данные представлены на рисунке 1. Полученная удалением шума кривая является гладкой и пригодна для обработки с использованием дифференциальных соотношений.

На рисунке 2 приведены 3 кривые, описывающие фактические темпы развития производства, темпы с удалением периодической составляющей (с почти периодом в 10,5 лет) и убывающим экспоненциальным трендом. Сразу заметим, что при переходе от абсолютных величин к темпам явно видна циклическая составляющая с почти периодом $\approx 10,5$ лет (циклы Жигляра – Маркса). Удаление этой составляющей показывает наличие и более длинных циклов (похожих на Кондратьевские, хотя и более коротких). Тренд близок к убывающему экспоненциальному. Последнее говорит, что процесс развивается по схеме близкой к «испорченной» модели Гомперца, где в экспоненту включается колебательная составляющая.



Рисунок 1. Динамика производства товаров длительного пользования в США за 1947-2016 годы (фактическая и с удалением шума).



Рисунок 2. Динамика темпов развития производства с выделением среднесрочного тренда с удалением коротких колебаний и долговременного аperiodического экспоненциального тренда.

На рисунке 3 представлены абсолютные и относительные колебания темпов относительно аperiodического тренда и результаты попыток их аппроксимации суммой 2 и 3 гармонических колебаний.

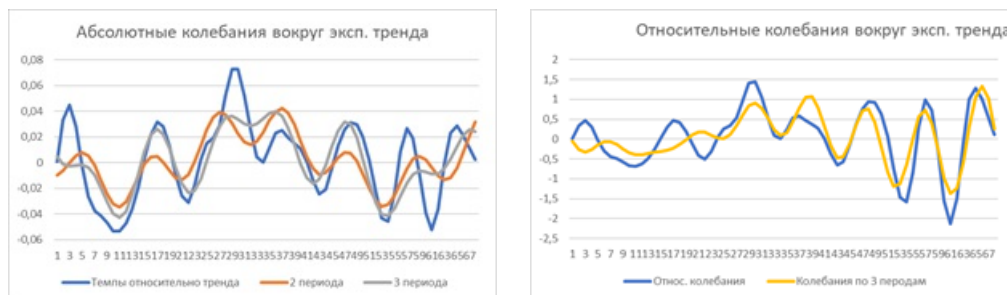


Рисунок 3. Пример разложения абсолютных и относительных колебаний темпов относительно аperiodического тренда в виде суммы гармоник.

Аппроксимация, «похожа» на исходные колебания, но не более того. Это отражает тот факт, что колебания являются именно почти периодическими и строгих периодов не имеют. Последнее принципиально ограничивает возможности долговременного прогноза в силу неопределенности конкретных сроков наступления тех или иных событий и соответствующих им значений, сохраняя лишь качественный ход процесса (почти как у Нострадамуса), давая почву для «оптимистических» и «пессимистических» прогнозов.

Заключение

Рассмотренные методы позволяют проводить достаточно объективный анализ данных и создают условия для построения обоснованного прогноза. Проведен численный анализ по данным многолетней статистики динамики производства. Научная новизна исследования заключается в разработке методики декомпозиции процесса на трендовые и колебательные компоненты. В отличие от большинства существующих исследований анализа динамики процессов большое внимание уделяется учету и оценке уровня шума с определением пределов точности получаемых результатов и, тем более, прогнозов, что позволяет избегать необоснованных выводов и решений и построения «слишком» точных результатов на основе недостаточно точных исходных данных, исходя из требований гладкости функции при имеющемся уровне шума. Использование функций ограниченного роста и выявление точек смены тренда позволяет проводить корректное качественное долгосрочное прогнозирование без необоснованного предсказания катастрофического

хода изучаемого процесса. Полученные результаты позволяют получить аналитическое выражение изучаемых процессов на основе статистических данных, представленных в виде временных рядов что позволяет не только аппроксимировать поведение процесса, но и выявлять его физическую сущность и, соответственно использовать полученные решения на целый класс процессов аналогичной природы. Предлагаемые методы и алгоритмы ориентированы, прежде всего на анализ и прогнозирование динамики экономических процессов, а также ряда природных процессов, например, метеорологических, подверженных влиянию различных, в том числе и случайных факторов.

Библиография

1. Breiman L., Friedman J., Olshen R.A., Stone C.J. Classification and Regression Trees. New York: Imprint Chapman and Hall/CRC, 2017. – 368 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315139470>. (First published 1984)
2. Дюран Б., Оделл П. Кластерный анализ. М.: Статистика, 1977. – 128 с.
3. Рашид Тарик. Создаем нейронную сеть. М.: Диалектика-Вильямс, 2023. – 272 с.
4. Мошков М. Ю. Оценки глубины деревьев решений над конечными двузначными системами проверок. // Математические вопросы кибернетики. Вып. 7. М.: Физматлит, 1998. С. 161-168. URL: <http://library.keldysh.ru/mvk.asp?id=1998-161>.
5. Savitzky A., Golay M.J.E. Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. Analytical Chemistry. 1964. 36(8). P. 1627-1639.
6. Скляр А.Я. Анализ и устранение шумовой компоненты во временных рядах с переменным шагом // Кибернетика и программирование. 2019. № 1. С. 51-59. DOI: 10.25136/2644-5522.2019.1.27031 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=27031
7. Скляр А. Я. Математическое моделирование экономических процессов на основе принципа максимума полезности. М.: РТУ МИРЭА, 2021. – 180 с.
8. Кузьмин В.И., Самохин А.Б., Гадзаов А.Ф., Чердынцев В.В. Модели и методы определения параметров нелинейных процессов. М.: Московский технологический университет (МИРЭА), 2016. – 148 с.
9. Johnson M. Correlations of cycles in weather, solar activity, geomagnetic values and planetary configurations. San Francisco: Phillips and Van Orden, 1944. – 122 p.
10. Кузьмин В.И., Самохин А.Б. Почти периодические функции с трендом. Вестник МГТУ МИРЭА. 2015. № 4(9). Т. 2. С. 105-107. EDN: VNIYPJ

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Предметом исследования в рецензируемом исследовании выступают методы анализа временных рядов, в статье акцент сделан на нелинейные регрессионные модели. Методология работы базируется на применении различных подходов для аппроксимации трендов, статистического сглаживания (полиномиальные фильтры, оценка уровня шума через дисперсию), гармонического анализа для выделения периодических компонент, а также визуализации данных.

Актуальность исследования авторы связывают с необходимостью анализа статистических данных для выявления внутренних зависимостей.

Научная новизна исследования заключается в обобщении сведений о моделях и алгоритмах нелинейного регрессионного анализа временных рядов; полученное в

результате исследования приращение научного знаниями позиционируется авторами как разработка «методики декомпозиции процесса на трендовые и колебательные компоненты».

Структурно в тексте выделены следующие озаглавленные разделы и подразделы: Введение, Оценка и удаление шума в данных, Нахождение долговременного тренда, Дифференциальные методы (Экспоненциальное приближение к постоянной, Гиперболическое приближение к постоянной, Модель Гомперца, Сигмоидальные модели), Интегральные методы, Характеристические показатели (Экспоненциальное приближение к постоянной), Нахождение технического тренда, Нахождение колебаний, Численная реализация, Заключение и Библиография.

В статье рассмотрены такие этапы анализа временных рядов как удаление шума (методы Савицкого–Галея, скользящие средние), выделение тренда (экспоненциальные, гиперболические, сигмоидальные модели), анализ колебательных компонент (разложение Фурье, сдвиговые функции). Авторами освещены как классические подходы (метод наименьших квадратов), так и оригинальные алгоритмы, например, интегральные методы для оценки параметров тренда. Численная реализация рассмотренных в статье методов проиллюстрирована авторами на примере – статистике производства товаров длительного пользования в США за 1947-2016 годы. Предлагаемые методы и алгоритмы ориентированы на анализ и прогнозирование динамики экономических процессов, а также ряда природных процессов, например, метеорологических, подверженных влиянию различных, в том числе и случайных факторов.

Библиографический список включает 10 источников – научные публикации российских и зарубежных авторов по рассматриваемой теме на русском языке и иностранных языках. В тексте публикации имеются адресные отсылки к списку литературы, подтверждающие наличие апелляции к оппонентам.

Из резервов улучшения работы стоит отметить, что авторами не выполнены требования принятых редакцией Правил оформления списка литературы, в соответствии с которыми «рекомендованный объем списка литературы для оригинальной научной статьи – не менее 20 источников». Оформление интервалов, которые в представленных материалах отражаются в виде отсылок к списку литературы ввиду использования квадратных скобок, например «к интервалу $[0, 1]$ » (с использованием для написания " $[0, 1]$ " в качестве шрифта верхнего индекса).

Тема статьи актуальна, материал соответствует тематике журнала «Программные системы и вычислительные методы», отражает результаты проведенного исследования, может вызвать интерес у читателей, рекомендуется к опубликованию.

Программные системы и вычислительные методы

Правильная ссылка на статью:

Конников Е.А., Поляков П.А., Старченкова О.Д., Сергеев Д.А. Инфометрический метод определения эффективной точки сброса гуманитарного груза с БПЛА в условиях ограниченности вычислительных ресурсов // Программные системы и вычислительные методы. 2025. № 3. DOI: 10.7256/2454-0714.2025.3.75338 EDN: PGUJBC URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=75338

Инфометрический метод определения эффективной точки сброса гуманитарного груза с БПЛА в условиях ограниченности вычислительных ресурсов

Конников Евгений Александрович

ORCID: 0000-0002-4685-8569

кандидат экономических наук

доцент, Высшая инженерно-экономическая школа; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Калининский р-н, ул. Политехническая, д. 29

✉ konnikov_ea@spbstu.ru



Поляков Прохор Александрович

ORCID: 0000-0003-1362-6283

магистр; институт промышленного менеджмента, экономики и торговли; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

194295, Россия, г. Санкт-Петербург, Выборгский р-н, пр-кт Просвещения, д. 33 к. 2

✉ prohor@polyakov-box.ru



Старченкова Олеся Дмитриевна

ORCID: 0009-0009-1168-2362

ассистент; институт промышленного менеджмента, экономики и торговли; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

195273, Россия, г. Санкт-Петербург, Красногвардейский р-н, Мурунская дорога, д. 8 к. 1

✉ starchenkova.od@edu.spbstu.ru



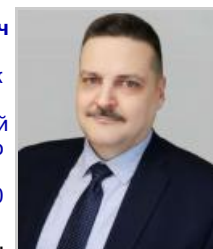
Сергеев Дмитрий Анатольевич

кандидат экономических наук

доцент; институт промышленного менеджмента, экономики и торговли; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

194021, Россия, г. Санкт-Петербург, Выборгский р-н, ул. Новороссийская, д. 50

✉ sergeev_da@spbstu.ru



[Статья из рубрики "Математическое моделирование и вычислительный эксперимент"](#)

DOI:

10.7256/2454-0714.2025.3.75338

EDN:

.....

PGUJBC

Дата направления статьи в редакцию:

30-07-2025

Аннотация: Предметом исследования является вычисление высокоточной точки сброса гуманитарного груза с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в сложных атмосферных условиях и при жёстких ограничениях на бортовые вычислительные ресурсы. Объектом исследования выступает процесс аэраскида, включающий баллистические, аэродинамические и информационные факторы, определяющие конечную траекторию контейнера. Автор подробно рассматривает такие аспекты темы, как интеграция дифференциально-геометрического моделирования атмосферы на основе потока Риччи, квантово-вдохновленная глобальная оптимизация точки сброса и лёгкая нейросетевая коррекция траектории в реальном времени с применением микроконтроллера ESP32. Особое внимание уделяется распределению вычислительной нагрузки между одноплатным компьютером Raspberry Pi 5, выполняющим ресурсоёмкие расчёты, и энергосберегающим контроллером, ответственным за онлайн-коррекцию. Таким образом, исследование направлено на формирование единого инфометрического подхода, минимизирующего неопределённость координаты приземления и обеспечивающего метрический уровень точности доставки грузов. Методика исследования основана на комбинировании потока Риччи для адаптивного моделирования атмосферы, квантово-вдохновленной оптимизации роя частиц для поиска CARP и TinyML-коррекции траектории груза на ESP32 во время падения. Основными выводами проведённого исследования являются подтверждённая возможность метрически точного аэраскида без тяжёлых навигационных систем и демонстрация эффективности предложенной инфометрической концепции QRNA. Особым вкладом автора в исследование темы является разработка гибридного алгоритма, совмещающего методы дифференциальной геометрии, квантово-вдохновленной оптимизации и лёгкого нейросетевого обучения, а также его практическая реализация на доступных одноплатных устройствах. Новизна исследования заключается в интеграции потока Риччи для динамического искажения метрической модели атмосферы непосредственно в задаче расчёта точки сброса и в применении квантово-роевого поиска в пространстве координат CARP. Дополнительная новизна проявляется в использовании TinyML-сети для онлайн-коррекции траектории груза, что ранее не применялось в контексте гуманитарных БПЛА. Полученные результаты моделирования демонстрируют снижение среднеквадратичной ошибки приземления до 0,15 м, что на порядок лучше продвинутых ML-подходов и на два порядка точнее классических баллистических методов, подтверждая высокую практическую ценность разработанного алгоритма.

Ключевые слова:

Беспилотные летательные аппараты, Точка сброса груза, Высокоточная доставка, Аэраскид, Инфометрический алгоритм, Поток Риччи, Квантово-роевая оптимизация, Нейросетевое управление, Ограниченные вычислительные ресурсы, Гуманитарная

логистика

Введение

Беспилотные летательные аппараты всё шире применяются для доставки грузов и адресного сброса припасов [1]. Однако точное прогнозирование точки приземления сбрасываемого груза затруднено воздействием аэродинамических сил, ветра и турбулентности, особенно в условиях ограниченных вычислительных ресурсов на борту дрона. Современные методы навигации и управления стремятся минимизировать отклонение груза от цели даже при сбросе с больших высот и на высокой скорости [1, 9, 11, 12].

Под инфометрическим подходом в контексте сброса груза понимается методология, при которой все доступные источники данных рассматриваются как элементы единого информационного поля. Решение формируется посредством количественного учёта их вклада в снижение неопределённости координаты приземления груза. Традиционно для расчёта точки сброса используется понятие CARP (Computed Air Release Point) – вычисленная точка в воздухе, сброс в которой должен привести к попаданию груза в цель. Простейший подход основывается на баллистической траектории в вакууме, без учёта сопротивления воздуха. Такой метод чрезвычайно быстр, но даёт очень грубое приближение. На практике игнорирование атмосферных влияний приводит к огромным ошибкам: порывы ветра способны унести падающий груз на километры от цели [4].

Существующие сложные системы высокоточного десантирования, такие как JPADS, используют управляемые парашюты с GPS-наведением и способны достигать точности порядка 50–100 м даже при сбросе с высот 7–8 км. Однако для малогабаритных дронов такой комплекс неприемлем из-за веса и энергетических ограничений. Таким образом, возникает задача разработки более точного алгоритма расчёта точки сброса, который можно выполнить на ограниченных бортовых вычислителях (например, на Raspberry Pi или микроконтроллере), не оснащённых специализированными навигационными системами.

Актуальные научные исследования точности аэраскида выходят за рамки классической механики и привлекают методы искусственного интеллекта, оптимизации, а также концепции из квантовой физики и геометрии [8]. Ниже перечислены некоторые инновационные подходы, появившиеся в последние годы:

ANFIS-Drop. Гибридная нейро-нечёткая инференц-система ANFIS предлагается для вычисления корректировок к точке сброса в реальном времени [2, 13, 14]. Идея состоит в обучении нейронной сети с нечёткой логикой на истории предыдущих сбросов, учитывая неопределённости среды (ветер, турбулентность), и выдаче поправок в полёте груза:

$$\mu_{Ai}(x) = \exp\left(-\frac{(x - c_i)^2}{2\sigma_i^2}\right), \quad w_i = \mu_{Ai}(x) \cdot \mu_{Bi}(y)$$

где μ_{Ai} – функции принадлежности с центрами c_i и ширинами σ_i^2 .

QPSO-Bal. Квантово-вдохновленный алгоритм оптимизации (Quantum PSO for Ballistics) пытается применить принципы квантовых вычислений для поиска оптимальной точки сброса. В этой модели частицы-решения представлены не конкретными координатами, а волновыми функциями вероятности. Эволюция системы задаётся аналогом уравнения Шрёдингера с «гамильтонианом», потенциал которого равен ошибке приземления:

$$CARP_{opt} = \arg \min_p \{\| \mathbf{r}_{\text{приземл}}(\mathbf{p}) - \mathbf{r}_{\text{цель}} \|^2\},$$

Такой подход позволяет осуществлять глобальный поиск решения, выходя из локальных минимумов.

Ricci Flow Drop. Прорывной дифференциально-геометрический подход, в котором атмосфера рассматривается как искривлённое пространство-время, а траектория груза – как геодезическая линия в этом пространстве:

$$\frac{\partial g_{ij}}{\partial t} = -2R_{ij} + \nabla_i \nabla_j \Phi(\mathbf{x}, t),$$

где R_{ij} – тензор Риччи кривизны, а $\Phi(\mathbf{x}, t)$ – некоторый скалярный потенциал, связанный с распределением плотности воздуха и полем ветра. Метрика этого 4-мерного пространства деформируется по уравнениям потока Риччи таким образом, чтобы геодезическая соединяла точку сброса с целью, несмотря на сложные поля ветра. По сути, производится корректировка метрики атмосферы, приближающая траекторию к целевой точке.

StochDropNet. Стохастическое дифференциальное обучение, сочетающее машинное обучение с моделированием случайных процессов, описывающих турбулентность:

$$d\mathbf{x}_t = f(\mathbf{x}_t, t) dt + G(\mathbf{x}_t, t) d\mathbf{W}_t,$$

где $d\mathbf{W}_t$ – дифференциал винеровского процесса (броуновское движение), моделирующий случайные порывы ветра, а f и G – детерминированная и стохастическая части динамики. Предполагается, что движение груза можно моделировать стохастическим дифференциальным уравнением с винеровским процессом (броуновским движением) для случайных порывов ветра [\[15\]](#). Нейросеть используется для аппроксимации нелинейной динамики или непосредственного вывода корректирующих действий на основе реализованной траектории.

Алгебро-геометрический решатель. Теоретический подход, в котором задача вычисления точки сброса сводится к системе полиномиальных уравнений относительно параметров траектории (например, коэффициентов разложения координат по времени и неизвестного времени падения). Для решения этой системы предлагается применять базисы Грёбнера. Решением системы полиномов напрямую и будет координата эффективной точки сброса.

AdS/Drop (голографическая корреспонденция). Концептуальный метод, основывающийся на голографическом принципе, согласно которому процессы в объёме (трёхмерная атмосфера) могут быть эквивалентно описаны на границе пространства (двумерная поверхность земли или виртуальная граница). Параметры сброса трактуются как граничные условия, а отклик системы — как проекция динамики атмосферы на «бране». Хотя этот подход пока носит сугубо теоретический характер, он демонстрирует новый взгляд на проблему через соответствие 3D–2D моделей.

Критический анализ показал, что наивысший потенциал повышения точности достигается при комбинировании нескольких принципов. Во-первых, необходима высокая физическая достоверность модели (учёт нелинейных эффектов атмосферы, как в методе Ricci Flow). Во-вторых, важна глобальная оптимизация точки сброса (как в QPSO). В-третьих, эффективным дополнением является адаптивное обучение на лету под реальные

условия (как в StochDropNet). Опираясь на эти идеи, в данной работе предложен метод QRNA (Quantum Ricci Neural Airdrop), который объединяет указанные подходы в единой системе. Целевая платформа для реализации — связка одноплатного компьютера Raspberry Pi 5 и микроконтроллера ESP32 [3], что отражает практическую задачу: внедрить сложный алгоритм на ограниченных аппаратных ресурсах.

Методология

Архитектура QRNA. Предлагаемый алгоритм QRNA состоит из трёх взаимосвязанных модулей:

1. Пространственно-временное моделирование траектории (модуль Ricci). Здесь на Raspberry Pi выполняется вычисление поправок к классической траектории с помощью уравнений, вдохновленных потоком Риччи. Атмосфера представляется как 4-мерное пространство-время с метрикой, зависящей от распределения плотности воздуха и ветра. В качестве метрического тензора принимается следующая форма:

$$ds^2 = e^{2\Phi(x,y,z,t)}(-c^2 dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2),$$

где $\Phi(x, y, z, t) = \frac{1}{2} \ln(\rho(x, y, z, t)/\rho_0)$ – гравитационный потенциал, связанный с плотностью воздуха (нормированной к ρ_0 на уровне моря), c – скорость света (вводится формально для размерности). Деформация метрики подчиняется потоку Риччи с дополнительным источником от градиента ветра:

$$\frac{\partial g_{ij}}{\partial t} = -2R_{ij} + \kappa \nabla_i \nabla_j \Phi + \lambda W_{ij},$$

где $W_{ij} = \partial_i V_j + \partial_j V_i$ – симметризованный тензор ветра (V – поле ветра), κ и λ – небольшие коэффициенты ($\sim 0.5-0.7$), регулирующие вклад нестационарности атмосферы. Численное решение данного уравнения осуществляется методом конечных разностей по времени: за несколько итераций (10–20 шагов) корректируется тензор g_{ij} для всех расчетных узлов (например, в сетке по высоте через 50 м). В результате получается откорректированная модель «геометрии» атмосферы, в которой из точки сброса в цель проведена геодезическая – скорректированная траектория. Эта геодезическая траектория используется для вычисления поправок к исходному CARP.

2. Квантово-топологический модуль оптимизации (QT-Opt). Параллельно на Raspberry Pi выполняется оптимизационный поиск уточненной точки сброса на основе методов, вдохновленных QPSO. Алгоритм инициализирует несколько десятков «частиц» – возможных точек сброса вокруг базового CARP. Затем на каждой итерации вычисляется функционал энергии:

$$E_k = \|\mathbf{r}_{\text{приземл},k} - \mathbf{r}_{\text{цель}}\|^2 + \gamma R(\mathbf{g}_k),$$

где $\mathbf{r}_{\text{приземл},k}$ – прогноз точки приземления при сбросе из точки k (рассчитывается с помощью модели из модуля 1), $R(\mathbf{g}_k)$ – скалярная кривизна пространства для данной траектории (из модуля Ricci), $\gamma \approx 0.1$ – малый вес кривизны. Частицы стремятся уменьшить свой E путем смещения к состоянию с минимальной энергией, при этом добавляется небольшой случайный «квантовый» шаг, позволяющий покинуть локальные минимумы. Через 50–60 итераций рой сходится, и лучшая частица дает скорректированную точку сброса.

3. Стохастическая адаптация в реальном времени (Neuro-Ricci Bridge). Этот модуль

выполняется уже на борту микроконтроллера ESP32 во время самого сброса груза (после его отделения). Он служит для онлайн-коррекции траектории по данным датчиков, компенсируя непредвиденные возмущения (порывы ветра, отклонение при отделении и т.п.). Neuro-Ricci Bridge представляет собой легковесную нейросеть (типа TinyML) с архитектурой 8-5-3 (входы-скрытые-выходы) и функциями активации ReLU. Эта сеть обучена аппроксимировать решение уравнения СДУ (описанного в методе 4 ранее) для малых возмущений вокруг расчетной геодезической. По сути, она выдаёт поправку $\Delta \mathbf{r}(t)$ – требуемое изменение положения (или, эквивалентно, скорости) груза, чтобы вернуться на идеальную траекторию. Таким образом, модуль 3 «доводит» отклоняющийся груз, стремясь сохранить ранее рассчитанную идеальную траекторию [10].

Полный цикл работы QRNA начинается с того, что Raspberry Pi получает данные о местоположении цели, высоте, измерениях ветра (например, от бортового барометра, GPS и анемометра).

Затем предрасчет (до сброса): Вычисляется базовый CARP классическим методом. На его основе запускается модуль Ricci (правит метрику) и QT-Opt (уточняет точку сброса). В результате получается скорректированная точка сброса, которая передается на автопилот дрона. Дрон стабилизируется и проходит через эту точку.

Сброс: В момент достижения точки сброса механизм сброса (на базе ESP32) освобождает груз.

После сброса (в полете груза): Микроконтроллер ESP32 отслеживает движение груза с помощью инерциальных датчиков (IMU), барометра (для высоты) и, возможно, небольшого доплеровского лидара для измерения относительной скорости ветра. Эти данные поступают в модуль Neuro-Ricci Bridge, который на лету генерирует поправки. Если наблюдается отклонение груза от расчетной траектории, то ESP32 вычисляет коррекцию $\Delta \mathbf{CARP} = K_p \mathbf{e} + K_d \dot{\mathbf{e}} + K_r \mathbf{R}_{avg}$. Здесь \mathbf{R}_{avg} – характеристика кривизны траектории, вычисленная упрощенно по данным IMU [7]. Эта поправка в масштабе реального времени позволяет компенсировать возмущение [5].

Приземление: Груз достигает земли как можно ближе к цели. После касания (по датчику удара или резкому изменению ускорений) ESP32 записывает финальную ошибку в память. Эта информация по радиоканалу передается обратно дрону для учета при последующих сбросах (в обучающую выборку).

Таким образом, QRNA замыкает цикл адаптации [6, 16, 17]: каждый сброс немного дообучает систему, позволяя со временем еще точнее попадать в цель.

Реализуемая система распределяет задачи между одноплатным компьютером Raspberry Pi 5 (на базе ARM Cortex-A76, 4 ядра, ~5 ГФлопс) и микроконтроллером Espressif ESP32 (двухъядерный Tensilica @240 МГц). Raspberry Pi выступает как вычислительный узел для тяжелых задач оптимизации перед сбросом, а ESP32 – как контроллер реального времени, связанный с датчиками и механизмом сброса. Структуру взаимодействия можно представить диаграммой:



Рисунок 1 – Диаграмма взаимодействия аппаратных узлов системы

Предварительный расчёт (до сброса). Raspberry Pi получает исходные данные: координаты цели, высоту сброса, текущие измерения ветра (например, с бортового барометра, GPS, анемометра). Сначала классическим методом вычисляется базовая точка сброса (CARP). Затем запускается модуль Ricci, который корректирует модель атмосферы, и модуль QT-Opt, уточняющий точку сброса. В результате определяется скорректированная точка сброса, координаты которой передаются автопилоту дрона. Дрон стабилизируется и проливает через эту рассчитанную точку.

В момент прохождения рассчитанной точки сброса срабатывает механизм отделения груза (управляется контроллером ESP32). Груз освобождается и начинает свободное падение.

Микроконтроллер ESP32 отслеживает движение груза с частотой ~ 100 Гц, считывая датчики инерциальной навигации (IMU), высоты (барометр) и при необходимости данные миниатюрного доплеровского лидара (для относительной скорости ветра). Эти данные поступают в модуль Neuro-Ricci Bridge, который в режиме реального времени генерирует корректирующие воздействия. Если траектория груза отклоняется от расчётной, модуль выдаёт соответствующую поправку, как описано выше, подруливая груз (например, с помощью небольших аэродинамических поверхностей на контейнере или регулировки строп парашюта).

Груз достигает земли как можно ближе к цели. В момент касания (фиксируется датчиком удара или резким скачком акселерометра) ESP32 регистрирует финальную ошибку приземления и сохраняет её в памяти. Затем эта информация передаётся по радиоканалу обратно на Raspberry Pi или борт дрона для учёта при последующих сбросах (добавляется в обучающую выборку алгоритма). Таким образом, QRNA замыкает цикл адаптации [18, 19]: каждый выполненный сброс позволяет системе дообучиться и повысить точность в будущем.

Разработанная система рационально делит задачи между Raspberry Pi 5 (одноплатный компьютер на базе ARM Cortex-A76, 4 ядра, производительность порядка 5 GFLOPS) и контроллером Espressif ESP32 (двухъядерный Tensilica @240 МГц). Raspberry Pi выступает в роли вычислительного узла для ресурсоёмких расчётов перед сбросом, тогда как ESP32 выполняет функции контроллера реального времени, связанного с датчиками и исполнительными механизмами. Время, отведённое на вычисление точки сброса, как правило, составляет несколько секунд (пока дрон летит к зоне десантирования). За этот период Raspberry Pi успевает произвести сложные итеративные вычисления (модули 1 и 2). После отделения груза свободный полёт длится ~ 10 – 20 с, в течение которых ESP32 способен выполнить тысячи итераций простых операций. Таким образом, выбранное распределение задач по устройствам является оптимальным и обеспечивает высокую

точность при ограниченных ресурсах [20].

Результаты

Для проверки работоспособности предлагаемого подхода QRNA проведён численный эксперимент в среде Python с моделированием полёта груза. Условия моделирования соответствуют практике сброса с быстрого дрона: скорость носителя ~350 км/ч (~97 м/с), высота сброса 500 м, масса груза 20 кг. Аэродинамические параметры груза: коэффициент лобового сопротивления $Cd \approx 0,3$ (обтекаемая форма), характерная площадь ~0,05 м². Атмосферные условия: плотность воздуха 1,225 кг/м³ у земли; ветер изменяется от 0 м/с на поверхности до ~5 м/с встречного на высоте 500 м (линейный профиль). Цель — фиксированная точка на земле по курсу полёта дрона.

Были смоделированы три различных метода расчёта точки сброса груза:

- Классический метод: баллистический расчёт CARP без учёта сопротивления воздуха и ветра (для сравнения базовой точности).
- StochDropNet: продвинутый стохастический метод с элементами машинного обучения, учитывающий сопротивление и усреднённый ветер (аналог современного подхода с обученной моделью).
- QRNA (предлагаемый): комбинированный метод (Ricci + QT-Opt + нейросеть), учитывающий профиль ветра по высоте и выполняющий онлайн-коррекцию траектории.

Для каждого метода была вычислена точка сброса, после чего проведено численное интегрирование движения груза с фактическими силами сопротивления и ветра. По результатам моделирования измерена горизонтальная ошибка приземления (отклонение от цели), а также затраченное время вычисления точки сброса. Результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Среднеквадратичная ошибка (СКО) приземления и время расчёта

Метод	СКО ошибки, м	Время расчёта, с
Классический CARP	12,5	0,01
StochDropNet (ML)	1,8	0,4
QRNA (предложенный)	0,15	0,9

Моделирование показывает, что классический баллистический подход даёт наибольшую погрешность – порядка 10^1 м. Стохастический метод на основе ML заметно точнее (ошибка порядка нескольких метров). Предлагаемый же метод QRNA достигает ошибки порядка 10^{-1} м, то есть улучшает точность на порядок по сравнению с ML-подходом и на два порядка по сравнению с наивным баллистическим расчётом. Эти результаты подтверждают эффективность комбинированного алгоритма.

Для иллюстрации на рис. 2 показаны траектории груза при сбросе, рассчитанные классическим и предлагаемым методами (в симуляции).

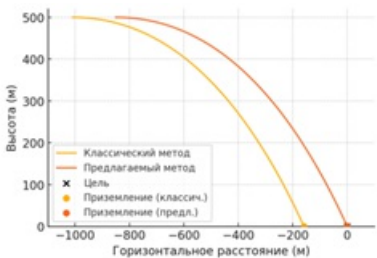


Рисунок 2 - Сравнение траекторий груза при сбросе

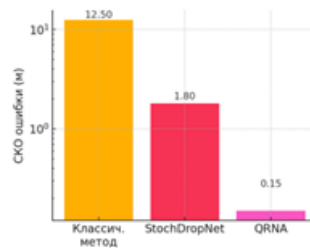


Рисунок 3 - Среднеквадратичная ошибка приземления (в метрах, логарифмическая шкала)

Классический метод (жёлтая кривая) не учитывает сопротивление воздуха и ветер, поэтому груз приземляется значительно ближе, чем требовалось (не долетает до цели примерно на 158 м). Предлагаемый метод QRNA (оранжевая кривая) корректирует точку сброса с учётом атмосферы и обеспечивает приземление практически точно в цель. Также была построена сравнительная диаграмма достигнутой точности (СКО) для разных методов (логарифмическая шкала ошибок). Классический подход демонстрирует самую большую ошибку ($\sim 10^1$ м), стохастический ML-метод – порядка 10^0 м, а QRNA – около 10^{-1} м, что наглядно подтверждает выигрыш в точности при внедрении каждого следующего усложнения алгоритма.

Дискуссия

В рамках работы проведён обзор методов расчёта точки сброса груза с БПЛА – от классических баллистических моделей до новейших гибридных подходов. Результаты сравнения показывают, что каждое последующее усложнение модели (учёт аэродинамического сопротивления, влияния ветра, активное планирование и коррекция) позволяет снизить ошибку приземления. Однако за повышение точности приходится платить возрастанием вычислительных требований и усложнением реализации.

Наивысшую точность обеспечивают методы, которые объединяют физически обоснованное моделирование с адаптивной подстройкой под реальные условия в полёте. Комбинированный алгоритм QRNA наглядно демонстрирует, что синергия нескольких передовых методов способна обеспечить качество, превосходящее каждую из технологий по отдельности. Другими словами, физически-информированный ИИ (physics-informed AI) в контуре управления аэраскидом позволяет достичь существенного повышения точности без необходимости в дорогостоящем оборудовании.

Практическое значение полученных результатов заключается в возможности высокоточного десантирования гуманитарных грузов и коммерческих посылок с беспилотников в труднодоступные точки. Кроме того, подходы, заложенные в QRNA, потенциально применимы в смежных областях – например, для точного сброса капсул с образцами или посадочных модулей в планетарных исследованиях. Несмотря на то что отдельные компоненты (например, голографический или алгебро-геометрический метод) пока носят теоретический характер, их развитие в сочетании с практическими алгоритмами, подобными QRNA, будет способствовать созданию полностью автономных высокоточных систем доставки, устойчивых к сложной атмосфере.

Заключение

В данной работе предложен новый инфометрический метод вычисления точки сброса груза с БПЛА в условиях ограниченных ресурсов. Разработан гибридный алгоритм QRNA, сочетающий дифференциально-геометрическое моделирование атмосферы, квантово-

вдохновенную оптимизацию и нейросетевую коррекцию на лету. Алгоритм успешно реализован на связке недорогих устройств (Raspberry Pi и ESP32) и продемонстрировал высокую точность в численном эксперименте. Среднеквадратичная ошибка приземления снижена до $\sim 0,15$ м, что существенно превосходит результаты как классического баллистического расчёта, так и современных ML-методов. Тем самым показано, что высокоточное попадание в цель при авиасбросе возможно без применения тяжёлых навигационных систем – за счёт интеллектуального алгоритма, эффективно использующего доступную информацию. В перспективе планируется дальнейшее развитие предложенного подхода, включая испытания системы в реальных полётах и адаптацию модели к различным типам грузов и атмосферных условий.

Благодарности

Авторы выражают благодарность коллегам из научной группы за ценные обсуждения и поддержку при проведении исследования. Отдельная благодарность Санкт-Петербургскому политехническому университету Петра Великого за предоставленную базу для экспериментальных вычислений.

Библиография

1. Лазарев В.С., Лащев А.А. Разработка математической модели БПЛА на базе квадрокоптера с рамой DJI F-450 // Инженерный вестник Дона. 2018. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/5001.
2. Хтет Сое Паинг, Е Тет Линн, Хан Мью Хтун. Моделирование нечетко-логического управления квадрокоптером // Инженерный вестник Дона. 2020. № 7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N7y2020/6533.
3. Кавелин А.С., Тютина А.Д., Нуриев В.Э. Использование квадрокоптеров для обследования объектов // Инженерный вестник Дона. 2019. № 7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N7y2019/6108. EDN: NHELQF.
4. Холкин А.В., Медведев М.В. Определение зигзагообразности траекторий движения транспортных средств // Инженерный вестник Дона. 2024. № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2024/9689. EDN: KTSHZK.
5. Сергеев Д.А., Родионов Д.Г., Поляков П.А., Голиков Г.И., Старченкова О.Д., Дмитриев Н.Д., Конников Е.А. Интеллектуальная система мониторинга и адаптации маршрута беспилотных летательных аппаратов на основе нейросетевого анализа объектов риска // Программные системы и вычислительные методы. 2025. № 1. С. 55-70. DOI: 10.7256/2454-0714.2025.1.73255 EDN: UZVYID URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=73255
6. Родионов Д.Г., Сергеев Д.А., Конников Е.А., Попова С.Д. Метод анализа аэрофотоснимков с БПЛА на основе SSIM и MSE для оценки надежности технических систем // Программные системы и вычислительные методы. 2025. № 2. С. 217-230. DOI: 10.7256/2454-0714.2025.2.73765 EDN: BSPENZ URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=73765
7. Makhmudov F., Privalov A., Egorenkov S., Pryadkin A., Kutlimuratov A., Bekbaev G., Cho Y.I. Analytical Approach to UAV Cargo Delivery Processes Under Malicious Interference Conditions // Mathematics. 2025. Vol. 13. No. 12.
8. Wang X., Yin J., Li J., Li Y. A Multidimensional Parameter Dynamic Evolution-Based Airdrop Target Prediction Method Driven by Multiple Models // Remote Sensing. 2025. Vol. 17. No. 14.
9. Majeed A., Hwang S.O. Path Planning Method for UAVs Based on Constrained Polygonal Space and an Extremely Sparse Waypoint Graph // Applied Sciences. 2021. Vol. 11. No. 12.
10. Shen Y., Zhu Y., Kang H., Sun X., Chen Q., Wang D. UAV Path Planning Based on Multi-

Stage Constraint Optimization // Drones. 2021. Vol. 5. No. 4.

11. Варламов О. О. Об одном подходе к метрике автономности и интеллектуальности робототехнических комплексов // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2017. № 6-2. С. 43-53. EDN: YWNDPI.
12. Коптев В. А. Анализ БПЛА как актуальных радиолокационных целей и их маскирующих факторов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2024. № 6-1. С. 244-250. DOI: 10.24412/2500-1000-2024-6-1-244-250. EDN: IIBCXX.
13. Варламов О. О., Лазарев В. М., Чувиков Д. А., Джха П. О перспективах создания автономных интеллектуальных роботов на основе миварных технологий // Радиопромышленность. 2016. № 4. С. 96-105. EDN: UQEVLG.
14. В России разработали новые многофункциональные дроны "Касатка" и "Микроб" [Электронный ресурс]. URL: <https://aif.ru/society/army/v-rossii-razrabotali-novuyemnogofunkcionalnye-drony-kasatka-i-mikrob> (дата обращения: 26.01.2025).
15. Вырелкин А. Д., Кучерявый А. Е. Использование беспилотных летательных аппаратов для решения задач "умного города" // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. № 1. С. 105-113. EDN: YPQDMT.
16. Терентьев В. Б. Метод свёртки вероятностных и параметрических показателей летательного аппарата // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы. 2019. С. 51. EDN: REXVQB.
17. Сорокин И. А., Романов П. Н., Чесноков А. Д., Кондраненкова Т. Е. Математическая модель обработки изображений опасных и вредоносных растений с камеры БПЛА // Вестник НГИЭИ. 2023. № 5. С. 20-32. DOI: 10.24412/2227-9407-2023-5-20-32. EDN: HWCSGN.
18. Али Б., Садеков Р. Н., Цодокова В. В. Алгоритмы навигации беспилотных летательных аппаратов с использованием систем технического зрения // Гироскопия и навигация. 2022. № 4. С. 87-105. DOI: 10.17285/0869-7035.00105. EDN: ETCJST.
19. Костин А. С. Информационно-измерительные системы для контроля выполнения траектории авиационной системы // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: материалы XXIV Международной научной конференции. Часть 1. 2021. С. 219-226.
20. Xu Y., Wei Y., Wang D., Jiang K., Deng H. Multi-UAV Path Planning in GPS and Communication Denial Environment // Sensors (Basel). 2023. Vol. 23. No. 6. P. 2997.
21. Vera-Yanez D., Pereira A., Rodrigues N., Molina J.P., García A.S., Fernández-Caballero A. Vision-Based Flying Obstacle Detection for Avoiding Midair Collisions: A Systematic Review // J. Imaging. 2023. Vol. 9. P. 194.

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Предметом исследования в рецензируемой статье выступает алгоритм расчёта точки сброса, который можно выполнить на ограниченных бортовых вычислителях беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), не оснащённых специализированными навигационными системами.

Исследования базируется на применении методология, при которой все доступные источники данных рассматриваются как элементы единого информационного поля, такой подход в контексте сброса груза именуется авторами инфометрическим.

Актуальность работы обусловлена тем, что беспилотные летательные аппараты всё шире применяются для доставки грузов и адресного сброса припасов, однако точное

прогнозирование точки приземления сбрасываемого груза затруднено из-за воздействия аэродинамических сил, ветра и турбулентности, особенно в условиях ограниченных вычислительных ресурсов на борту дрона, а игнорирование атмосферных влияний приводит к огромным ошибкам, поскольку порывы ветра способны унести падающий груз на километры от цели.

Научная новизна работы: предложен новый инфометрический метод вычисления точки сброса груза с БПЛА в условиях ограниченных ресурсов, разработан гибридный алгоритм, сочетающий дифференциально-геометрическое моделирование атмосферы, квантово-вдохновленную оптимизацию и нейросетевую коррекцию на лету.

Структурно в статье выделены следующие разделы: Введение, Методология, Результаты, Дискуссия, Заключение, Благодарности и Библиография.

В работе приведена диаграмма взаимодействия аппаратных узлов беспилотной авиационной системы, отражены результаты моделирования и измерения горизонтальная ошибки приземления (отклонение от цели), а также затраченное время вычисления точки сброса по предлагаемому методу в сравнении двумя другими известными методами решения такой задачи, а также проведено сравнение траекторий груза при сбросе. Авторы показывают, что высокоточное попадание в цель при авиасбросе возможно без применения тяжёлых и сложных навигационных систем – за счёт интеллектуального алгоритма, эффективно использующего доступную информацию.

Библиографический список включает 21 источник: научные публикации отечественных и зарубежных авторов по рассматриваемой теме на русском и иностранных языках. В тексте публикации имеются адресные отсылки к списку литературы, подтверждающие наличие апелляции к оппонентам.

Из резервов улучшения публикации стоит отметить следующие. Во-первых, в заголовке используется аббревиатура, что представляется не лучшим вариантом, поскольку в соответствии с современными ГОСТами (см. ГОСТ 59518-2021) предусмотрено использование термина «Беспилотные авиационные системы» (БАС), и читателям спустя какое-то время в связи с распространением новой принятой терминологии возможно будет непонятно название статьи. Во-вторых, формулы в тексте публикации почему-то не пронумерованы.

Тема статьи актуальна, соответствует тематике журнала «Программные системы и вычислительные методы», отражает результаты выполненного исследования, обладает элементами новизны и практической значимости, рекомендуется к публикации после ознакомления авторами с высказанными пожеланиями.

Программные системы и вычислительные методы

Правильная ссылка на статью:

Пекунов В.В. Интерполирующая и экстраполирующая мемоизация в языке Planning C // Программные системы и вычислительные методы. 2025. № 3. DOI: 10.7256/2454-0714.2025.3.37869 EDN: PICMLR URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=37869

Интерполирующая и экстраполирующая мемоизация в языке Planning C

Пекунов Владимир Викторович

доктор технических наук

Инженер-программист, ОАО "Информатика"

153000, Россия, Ивановская область, г. Иваново, ул. Ташкентская, 90

✉ pekunov@mail.ru



[Статья из рубрики "Математическое моделирование и вычислительный эксперимент"](#)

DOI:

10.7256/2454-0714.2025.3.37869

EDN:

PICMLR

Дата направления статьи в редакцию:

12-04-2022

Аннотация: В данной работе рассматриваются возможности повышения скорости исполнения программ, реализующих преимущественно математические алгоритмы, с помощью некоторых специальных видов мемоизации. Проведен краткий обзор существующих основных подходов к мемоизации, сделан вывод о недостаточной изученности возможностей явной программной мемоизации, основанной на том или ином способе приближения отсутствующих в кэше мемоизации результатов. Анализируются возможности такой мемоизации, описываются синтаксис и семантика возможных программных конструкций, указывающих на необходимость ее включения для функций/процедур (void-функций). Проводится апробация предлагаемых вариантов мемоизации, показано, что для некоторых математических алгоритмов возможно существенное ускорение работы при достаточно невысокой погрешности. Новизна данного исследования состоит в том, что впервые предложены и описаны синтаксис, семантика и основные механизмы реализации явной программной мемоизации, основанной на интерполяции (нейронными сетями прямого распространения или методом группового учета аргументов) или линейной экстраполяции. Данная мемоизация

вводится в язык Planning C. Сформулированы условия оправданности мемоизации. Для предложенного варианта мемоизации вводится понятие группирующего параметра, позволяющего использовать наборы интерполяторов для различных комбинаций входных аргументов мемоизированной процедуры/функции с целью снижения дополнительных временных затрат на обучение интерполятора и повышение правдоподобности его результатов. Также введено понятие порядкового параметра, используемого для установления порядка ключевых точек экстраполирующей мемоизации. Адекватность предложенных подходов и алгоритмов мемоизации показана на ряде примеров из области численного моделирования.

Ключевые слова:

мемоизация, предикция, интерполятор, экстраполятор, синтаксические конструкции, язык программирования, апробация, параллельные вычисления, нейронная сеть, МГУА

Введение

Наиболее часто под мемоизацией понимают кэширование результатов исполнения функций, преимущественно в функциональных языках [\[1\]](#). Однако на практике мемоизация может трактоваться более широко, как прием, позволяющий предсказывать результат выполнения некоторого программного блока (функции, цикла, произвольного фрагмента кода, произвольной серии инструкций процессора) на основании известных результатов предыдущих сеансов исполнения этого блока. Это достаточно мощный прием, позволяющий в ряде случаев значительно сократить время выполнения программы за счет исключения повторного вычисления ее отдельных блоков. Рассмотрим данную проблему более подробно.

Мемоизацию, по типу реализации можно разделить на аппаратную и программную. При этом на аппаратном уровне она может быть реализована либо на уровне инструкций процессора, либо на уровне аппаратной поддержки кэшей результатов функций и/или циклов. Программная реализация может быть либо встроена в транслятор (который автоматически определяет потенциально безопасные функции, которые могут быть эффективно мемоизированы), либо представлена на уровне специальных инструкций, вставляемых в код программистом.

По наличию аппроксимации мемоизацию можно разделить на строгую (без аппроксимации) и нестрогую (интерполирующую или экстраполирующую). Нестрогая мемоизация предполагает наличие попыток выдать приближенный (интерполированный или экстраполированный) результат для набора аргументов, которого нет в собранном кэше таких наборов, тогда как строгая мемоизация ограничивается выдачей результатов только для кэшированных наборов аргументов. При этом очевидно, что нестрогая мемоизация способна давать существенно более значительное сокращение общего времени выполнения программы, разумеется, если она находится под строгим контролем, не пропускающим ирреальные прогнозы результатов (по этой причине более предпочтительной является именно программная мемоизация).

Рассмотрим некоторые стандартные языки программирования и исследовательские работы, в которых представлены различные варианты мемоизации.

В языке Haskell мемоизация на уровне языка не поддерживается, используются явные синтаксические конструкции. Язык позволяет для некоторой комбинации аргументов

определить прием, позволяющий строго мемоизировать любую функцию с такими аргументами. Это не вполне универсальный прием, хотя потенциально вполне позволяет реализовать даже интерполирующую мемоизацию. В языке Common Lisp [2] строгая мемоизация встроена на уровне транслятора. В языке Perl [3] мемоизация в язык не встроена, но реализована в виде библиотеки, позволяющей применять соответствующие явные синтаксические конструкции (строгая мемоизация).

В работе [4] описана автоматическая программная мемоизация, реализуемая путем перехвата вызовов к динамически подгружаемым функциям на уровне исполняемого кода. Таким образом, реализуется универсальный подход к строгой мемоизации, независимо от используемого языка программирования, к сожалению также неконтролируемой.

В работе [5] мемоизация результатов функций и циклов реализуется на уровне специального процессора, без интерполяции/экстраполяции результатов. При обращении к функции сначала порождаются два спекулятивных потока, в одном из которых предполагается, что можно воспользоваться результатом мемоизации (в этом потоке исполнение функции пропускается), во втором – нельзя (в этом потоке функция начинает исполняться). Одновременно с этим идет проверка на возможность использования результата мемоизации и, в зависимости от решения, принимается результат первого или второго потока.

В работе [6] представлена мемоизация с применением аппаратных кэшей данных, явно доступных программе.

В работах [7],[8],[9] описывается условный вариант нестрогой мемоизации как спекулятивных вычислений на уровне процессора. При этом используется лишь линейная целочисленная предикция (чтобы не вносить больших дополнительных накладных расходов, возможных, например, при работе с вещественными числами): по последнему значению [7], с шагом [8], контекстная [9], или гибридная [8]. Заметим, что прогностические стратегии используются процессором также в технологии предсказания ветвлений [10, 11] (в сложных случаях даже используется прогнозирование с применением нейронной сети [11], в частности линейного персептрона), что повышает эффективность работы современных процессоров с конвейеризацией вычислений. Неким вариантом нестрогой мемоизации можно считать и прогнозирование значений переменных, например, на уровне транзакционной памяти, однако в соответствующих работах (см., например, [12]) речь обычно идет о прогнозировании целочисленных значений отдельных ячеек памяти или переменных, а не об интерполяции/экстраполяции вещественных значений.

Весьма интересной представляется работа [13], описывающая вариант неявной нестрогой программной мемоизации на базе нейросетевой аппроксимации. Компилятор обнаруживает фрагменты кода, результаты которых аппроксимируемы нейронной сетью и заменяет их вызовами нейросетевого модуля. Отметим, что это достаточно универсальный прием, но сложности с автоматическим поиском вышеуказанных фрагментов кода и потенциально невысокое качество такой предикции для некоторых из данных фрагментов существенно снижает его ценность.

Резюмируя данный краткий обзор, сведем его результаты в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты обзора известных вариантов реализации мемоизации

Мемоизация	Строгая	Нестрогая
Аппаратная на уровне инструкций	[5]	[7],[8],[9],[12]
Аппаратная на уровне доступного программе специального кэша	[6]	
Программная, неявная (встроена в компилятор)	Common Lisp [2] , также универсальный подход [4]	[13]
Программная, явная (на уровне специальных инструкций)	Perl [3] , также Haskell	

Достаточно очевидно, что именно нестрогая явная программная мемоизация, отмеченная выше как наиболее перспективная, в настоящее время практически не исследована (по крайней мере, найти работы по данной проблематике автору не удалось). При этом весьма интересным представляется рассмотрение именно варианта с нецелочисленной предикцией (поскольку наибольший эффект мемоизация дает в случае кэширования/прогнозирования результатов выполнения трудоемких блоков с хорошо определяемыми зависимостями «вход-выход», что в наибольшей степени характерно для математических алгоритмов, обычно имеющих дело с вещественными числами), который также недостаточно исследован в смысле применения мемоизации. Поэтому данная тематика представляется достаточно актуальной.

Целью данной работы является исследование возможности повышения скорости выполнения программ на языках высокого уровня с помощью нестрогой явной программной мемоизации. Для достижения данной цели поставим следующие задачи: а) сформулировать понятие интерполирующей/экстраполирующей мемоизации; б) предложить синтаксис и семантику специальных директив включения такой мемоизации для процедур/функций, которые могут быть интегрированы, например, в язык Planning C (расширение C++, [\[14\]](#)) его штатными средствами; в) провести апробацию некоторых вариантов предлагаемой мемоизации для процедур/функций, решающих типовые подзадачи численного моделирования с потенциально хорошо интерполируемыми или экстраполируемыми результатами.

Интерполирующая/экстраполирующая мемоизация

Пусть речь идет о мемоизированной процедуре/функции, выполняющей некий алгоритм, результаты которого описываются достаточно гладкой, но неизвестной заранее математической функцией. Такие результаты, теоретически, могут быть вычислимы (хотя бы в некоторых точках) с помощью интерполяции или экстраполяции, если известен набор ключевых точек. Заметим, что

а) набор ключевых точек (параметры функции, результат) может быть получен как побочный эффект мемоизации;

б) при определенных условиях вполне возможна *интерполирующая мемоизация*, когда для текущих параметров сохраненного результата нет, но он может быть достаточно легко вычислен;

в) в некоторых случаях возможна и *экстраполирующая мемоизация*, когда последовательность результатов функции является неким временным рядом, имеющим закономерности, и очередное значение функции может быть предсказано неким сравнительно низкокзатратным алгоритмом.

Следует подчеркнуть, что интерполирующая/экстраполирующая мемоизация такого рода будет давать *положительный эффект только при соблюдении следующих условий*:

- а) время вычисления интерполированного/экстраполированного результата S строго меньше среднего времени выполнения процедуры/функции T ;
- б) имеет место неравенство $P + K \times S < K \times T$, где P – время обучения предиктора, K – некоторое количество итераций, на которых обученный предиктор дает приемлемые по точности результаты;
- в) выполняется периодический контроль качества предиктора, когда для заданного набора входных параметров вычисляется прогноз V , затем запускается мемоизированная процедура/функция, вычисляющая верный результат B , и, наконец, сравниваются V и B . Если погрешность прогноза не превышает некоторой заданной точности, то предиктор валиден и будет использоваться еще некоторую серию вызовов. В противном случае предиктор подлежит переобучению по имеющемуся набору мемоизированных точек, возможно, в сочетании с дополнительным набором новых точек, получаемых в результате прямого вызова процедуры/функции.

Такая мемоизация может быть применена, например, если процедура/функция имеет достаточно высокую вычислительную трудоемкость, например, решает прямую задачу химической кинетики, или интегрирует дифференциальное уравнение, результат расчета которого входит в какой-либо еще циклический математический алгоритм. Следует заметить, что, если рабочим предиктором является, например, нейронная сеть, линейный экстраполятор или полином, построенный методом группового учета аргументов (МГУА [15]), то возможен любопытный побочный эффект: мемоизированная процедура/функция может, фактически, стать интерфейсом обучения и вычисления отклика такого элемента – тем самым *нейронные сети, линейные экстраполяторы и МГУА-полиномы неявно вводятся в язык программирования* и могут быть применены в нем для самых различных программных целей.

Синтаксис и семантика директив включения мемоизации

Включение режима мемоизации для процедуры/функции производится с помощью специальной директивы, вставляемой в отдельной строке непосредственно перед заголовком:

```
директива_мемоизации = «#pragma» пробелы «memoization» [пробелы] «(» [пробелы]
карта_параметров [пробелы] «)» [[пробелы] (МГУА | нейросеть|экстраполятор)
[вид_контроля]]
```

```
карта_параметров = параметр {[пробелы] «,» [пробелы] параметр}
```

```
параметр = {«*»} вид_параметра
```

```
вид_параметра = входной | выходной | группирующий | порядковый
```

```
входной = «i»
```

```
выходной = «o»
```

группирующий = «**g**»

порядковый = «**t**»

МГУА = «**mgua**» [пробелы] «(» точность «)»

точность = вещественное_число_от_0_до_1

нейросеть = «**feed_forward**» пробелы «(» точность «,» коэффициент_обучения «,»
макс_число_итераций «,» [описатель_нелинейных_слоев] «)»

экстраполятор = «**lin_extrapolator**» [пробелы] «(» точность «,» порядок_экстраполятора
«)»

коэффициент обучения = вещественное_число

порядок_экстраполятора = целое_число_большее_нуля

описатель_нелинейных_слоев = число_нейронов_в_слое «,» актив_функция [«,»
число_нейронов_в_слое «,» актив_функция]

актив_функция = экспон_сигмоида | линейная | гиперб_тангенс | ReLU

экспон_сигмоида = «**e**»

линейная = «**l**»

гиперб_тангенс = «**h**»

ReLU = «**r**»

вид_контроля = автоматический | по_условию

автоматический = «**controlled**» «(» число_разгонных_точек «,»
число_предсказуемых_точек «)»

по_условию = «**conditions**» «(» условие_отбора_точки_в_историю «,»
условие_предикции «)»

условие_отбора_точки_в_историю = логическое_выражение

условие_предикции = логическое_выражение

Дадим некоторые пояснения. *Карта_параметров* указывается всегда, ее элементы специфицируют вид параметра – входной, выходной, порядковый или группирующий. Если параметр представляет собой указатель на входное/выходное/группирующее значение, то перед символом вида указывается оператор разыменования «*». Если мемоизация производится для функции, то ее *результат всегда является одним из выходных параметров, заданным неявно*.

Группирующий параметр введен для упрощения вычисления предикторов и повышения их качества. Если он определен (в таком случае он должен быть единственным!), то для каждого из обнаруженных в ходе работы значений этого параметра генерируется отдельный предиктор, обучаемый только по точкам, полученным при передаче в процедуру/функцию данного значения группового параметра. В частности, такой режим очень удобен при мемоизации процедур/функций, вычисляющих неким математическим алгоритмом значения некоторого поля. В этом случае попытки обучения единого

предиктора для всех узловых значений поля могут быть малоуспешными или занимать чрезмерно большое время на обучение, в то время как обучение отдельного предиктора для каждого узла способно дать заметно лучшие результаты. В этом случае следует ввести мемоизируемую процедуру, обрабатывающую за один раз один узел, принимающую ряд входных и один выходной (узловое значение поля) параметры, а также группирующий параметр – номер узла, все остальное среда исполнения проделает автоматически.

Порядковый параметр имеет значение только для экстраполирующей мемоизации. В этом случае его значение используется для установления порядка, в котором будут рассматриваться значения выходного параметра при построении линейного экстраполятора. Порядковый параметр может быть только один, кроме того, он должен быть первым параметром мемоизируемой процедуры/функции. При этом наличие прочих входных параметров возможно, но они не будут приниматься во внимание. Выходной параметр должен быть только одним (явно указывается в карте параметров или под ним подразумевается результат функции, если мемоизируется функция).

Режим обычной мемоизации включается, если в вышеуказанной директиве не указано ни утверждения «**mgua**», ни утверждения «**feed_forward**», ни утверждения «**lin_extrapolator**».

Режим интерполирующей/экстраполирующей мемоизации без контроля включается, если в директиве указано утверждение «**mgua**» или утверждение «**feed_forward**» или утверждение «**lin_extrapolator**», но не содержится указание «**controlled**» или «**conditions**». В данном режиме по умолчанию выполняется обычная мемоизация, а для *явного* вызова предиктора используется специальный синтаксис с префиксом

«**predict_**» идентификатор_процедуры «(» параметры_вызова «)»

Для режима МГУА в директиве указывается только требуемая точность, для линейной экстраполяции – требуемая точность и число коэффициентов экстраполятора, для нейросети – требуемая точность, параметр для метода обратного распространения ошибки и максимальное количество итераций данного метода. Если *описатель нелинейных слоев отсутствует*, то нейронная сеть представляет собой однослойный линейный персептрон (число нейронов равняется количеству вычисляемых предиктором элементов). Если же *описатель присутствует*, то нейронная сеть имеет указанные нелинейные слои с указанными активационными функциями, а также линейный выходной слой (число нейронов в котором равняется количеству вычисляемых предиктором элементов).

Режим интерполирующей мемоизации с автоматическим контролем включается при наличии указания «**controlled**». При этом процедура/функция начинает работу в режиме обычной мемоизации, собирая историю ключевых точек на протяжении величины **число_разгонных_точек**. Вводится внутренний параметр – коэффициент доверия результатам **w**, изначально равный единице. Далее включается режим *контролируемой предикции*, в котором: а) выполняются вызовы предиктора с возвратом спрогнозированных результатов (на протяжении числа вызовов, равного величине **w*число_предикцируемых_точек**), б) осуществляется контроль (вычисляется предиктор, затем для тех же параметров вызывается исходная процедура и результаты сравниваются) – если контроль по точности проходит, то **w** увеличивается и переходим к (а), и так далее. Если же контроль по точности не проходит, то **w** уменьшается, предиктор пересчитывается и переходим к (б).

Режим интерполирующей мемоизации с контролем по условию включается при наличии указания «**conditions**». Если при очередном обращении к процедуре/функции выполняется **условие_предикции**, то выполняется предикция с возвратом соответствующих результатов. Если же это условие не выполняется, то для получения результатов вызывается исходная процедура/функция. Если при этом выполняется **условие_отбора_точки_в_историю**, то текущая пара (параметры, результат) включается в историю. Как только размер собранной истории превысит максимальный (который определяется при вызове функции **set_memoization_max_history**), предиктор автоматически переобучается.

Приведем примеры применения директивы для классической мемоизации функции вычисления числа Фибоначчи:

```
#pragma memoization(i)

double fibb(int a) {
    if (a < 3) return 1;
    else return fibb(a-1)+fibb(a-2);
}

#pragma memoization(i,o)

void fibb(int a, double &result) {
    if (a < 3) result = 1;
    else {
        double b, c;
        fibb(a-1, b);
        fibb(a-2, c);
        result = b+c;
    }
}
```

Апробация

1. Пусть решается следующая математическая задача: дана труба с неизвестным коэффициентом теплоотдачи стенок. По трубе движется жидкость (вода), ее температура на входе и на выходе известна, также известна температура окружающей среды. Необходимо определить коэффициент теплоотдачи стенок.

Данная задача может решаться как проблема нелинейной оптимизации. Минимизируется функция ошибки расчета $F(\alpha)$, зависящая от коэффициента теплоотдачи α . Для определения ошибки расчета задается известная температура на входе трубы и текущее значение коэффициента теплоотдачи α , затем, в численном эксперименте определяется температура на выходе $T_{\text{эксп}}$, которая сравнивается с известной температурой $T_{\text{вых}}$. То есть, проблема имеет вид:

$$\alpha_{\text{рез}} = \arg \min(F(\alpha));$$

$$F(\alpha) = (T_{\text{эксп}}(\alpha) - T_{\text{вых}})^2.$$

Итак, пусть $T_{\text{эксп}}$ находится путем численного интегрирования уравнения теплопроводности до установления при заданном α . Пусть расчетная сетка достаточно велика (имеет несколько тысяч узлов). Поместим этот расчет в процедуру и применим интерполирующую мемоизацию. Необходимые условия применимости интерполирующей мемоизации будут выполнены, если использовать нейросетевой интерполятор небольшого размера – тогда время его обучения и вычисления будет меньше, чем время численного решения уравнения теплопроводности, причем погрешность может быть невелика, поскольку $T_{\text{эксп}}(\alpha)$, скорее всего, является достаточно гладкой функцией. Воспользуемся трехслойной нейронной сетью с пятью нейронами в первом слое (гиперболический тангенс), тремя – во втором (гиперболический тангенс) и одним линейным нейроном в третьем слое. Применим автоматический контроль погрешности. Директива мемоизации будет иметь вид:

```
#pragma memoization(i,o) feed_forward(0.001, 0.05, 2000, 5, h, 3, h) controlled(7,2)
```

```
void get_t(double alpha, double & t1) {
```

```
// Интегрирование уравнения теплопроводности (при заданном alpha) до установления,
// вычисляется температура на выходе t1
```

```
}
```

Как показали результаты вычислений и замеров, данная программа нашла значение α за 1144,57 с. При этом аналогичная программа без мемоизации нашла значение α за 10163 с. Погрешность варианта с мемоизацией составила менее 0,01%. Таким образом, при очень малой погрешности, для данной задачи интерполирующая мемоизация позволила получить результат в 8,88 раза быстрее. Обычная мемоизация не смогла в данном случае дать существенного выигрыша (что также было подтверждено экспериментально – время решения существенно превысило результат интерполирующей мемоизации), поскольку входные значения α являются вещественными числами и практически не повторяются в процессе решения.

2. Пусть решается двумерная аэродинамическая задача, осложненная химической кинетикой (модель для такого случая взята из работы [\[16\]](#)): моделируется обдувание здания, на крыше которого происходит активное выделение и горение метана, образуются продукты горения. Наиболее вычислительно затратной процедурой здесь является интегрирование подсистемы уравнений химической кинетики (15 уравнений) в каждом узле расчетной области. Выделим данную процедуру в отдельный блок и попробуем применить интерполирующую мемоизацию.

Прежде всего, заметим, что вряд ли возможно применение единого интерполятора для всех узлов расчетной области, поскольку подсистема уравнений химической кинетики достаточно непростая и вряд ли имеет тривиальное аналитическое решение, которое может быть эффективно интерполировано нейронной сетью небольшой сложности. Поэтому, именно в данном случае представляется оправданным применение группирующего параметра – номера узла, который позволил бы обучить для каждого узла свой локальный интерполятор. Попытка применить в данном случае нейронную сеть даже в таком качестве завершилось неудачей – мемоизация не только не дала

выигрыша по времени, но даже замедлила решение. Поэтому было принято решение попытаться применить более быстро вычисляемый МГУА с автоматическим контролем погрешности мемоизации. Директива мемоизации имеет вид:

```
#pragma memoization(g,i,i,i,o) mgua(0.0000001) controlled(800,10)

void get_kinetics(int group, double _time, double Tk, float INC[15], float OUTC[15]) {

// Интегрирование уравнений химической кинетики с начальными концентрациями INC,
вычисляются конечные концентрации OUTC

}
```

Здесь **group** – группирующий параметр (номер узла), **_time** – текущее время моделирования, **Tk** – температура в текущем узле, **INC** – массив входных концентраций веществ, **OUTC** – массив выходных концентраций веществ.

Как показали результаты вычислений и замеров, моделирование на интервале модельного времени в 0,485 секунды при использовании мемоизации заняло 205,6 секунд, а при ее отсутствии – 271,91 секунды. При этом относительная погрешность не превысила 15-16%. С учетом достаточно высокой сложности задачи такой результат может быть признан вполне удовлетворительным.

3. Рассмотрим предыдущую задачу, но применим мемоизацию не для процедуры А интегрирования уравнений химической кинетики, а для процедуры Б, оценивающей время исполнения процедуры А во всех узлах. Это необходимо при параллельном решении предыдущей задачи с применением геометрического параллелизма, когда расчетная область поблочно распределяется по процессорам. При этом в каждом таком блоке присутствуют узлы, время интегрирования уравнений химической кинетики в которых существенно различается. Для более эффективного распараллеливания в таком случае, используются оценки времени интегрирования, которые позволяют оперативно перераспределить узлы по процессорам с целью максимального выравнивания их загрузки. Такие оценки для каждого конкретного узла часто представляют собой временной ряд с периодически наблюдающимися локальными закономерностями, обусловленными, например, характером изменения температуры протекания реакций в узле. Соответственно, можно попытаться применить экстраполирующую мемоизацию с порядковым параметром **i** и выходным массивом прогнозов времени в узлах **stat**. Директива мемоизации имеет вид:

```
#pragma memoization(t,o) lin_extrapolator(eps, 2) controlled(50, 1)

void prognose(int i, double stat[NY][NX]) {

// Заполнение массива stat замерами времени, потраченного на интегрирование
уравнений химической кинетики во всех узлах. Таким образом, при отсутствии
экстраполяции считаем, что данные замеры являются прогнозом времени
интегрирования для следующей итерации

}
```

Такая мемоизация показала достаточно хорошие результаты при порядке экстраполятора, меньшем трех (при более высоких порядках экстраполятор был склонен выдавать достаточно нереальные прогнозы). При этом время решения задачи (на четырех процессорах) без экстраполяции/балансировки составило 168,88 с, при

экстраполяции/балансировке с первым порядком экстраполятора – 73,19 с, со вторым порядком экстраполятора – 70,05 с. Время решения задачи в непараллельном варианте составляло 263,71 с, то есть в данном случае распараллеливание было оправданным, а экстраполирующая мемоизация – достаточно эффективной. Поскольку в данном случае прогнозирование применялось не для переменных задачи, а для оценок времени их расчета, вносимая погрешность здесь отсутствует.

Выводы

Итак, в данной работе проведен обзор существующих основных подходов к мемоизации, сформулировано понятие явной интерполирующей/экстраполирующей программной мемоизации, кратко описаны механизмы ее работы, описаны синтаксис и семантика директив включения такой мемоизации для функций/процедур (void-функций) языка Planning C. Проведена апробация предложенного программного формализма для некоторых подзадач численного моделирования и связанных с ними подзадач прогнозирования. Показано существенное ускорение работы для таких задач, причем при адекватном контроле погрешности дополнительная вносимая ошибка составила от 0,01% до 15-16%. При этом максимальные значения 15-16% наблюдалась только в наиболее сложном для прогнозирования случае -- при интерполирующей мемоизации результатов решения системы уравнений химической кинетики.

Библиография

1. Городняя Л.В. Парадигмы программирования. Часть 4. Параллельное программирование //Новосибирск. Препринт ИСИ СО РАН. – URL: http://www.iis.nsk.su/files/preprints/gorodnyaya_175.pdf (дата обращения: 05.11.2021).
2. Mayfield, James, Timothy W. Finin and M. R. Hall. Using automatic memoization as a software engineering tool in real-world AI systems // Proceedings the 11th Conference on Artificial Intelligence for Applications (1995): pp.87-93.
3. Perl 5.34.0 Documentation. URL: <https://perldoc.perl.org/Memoize> (дата обращения: 05.11.2021)
4. Arjun Suresh, Bharath Narasimha Swamy, Erven Rohou, and Andre Seznec. Intercepting functions for memoization: A case study using transcendental functions // ACM Trans. Architect. Code Optim. 12, 2, Article 18 (June 2015), 23 pages. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2751559>
5. Y. Kamiya, T. Tsumura, H. Matsuo and Y. Nakashima. A Speculative Technique for Auto-Memoization Processor with Multithreading // Proc. International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies, 2009, pp. 160-166, DOI: 10.1109/PDCAT.2009.67.
6. G. Zhang and D. Sanchez. Leveraging Hardware Caches for Memoization // IEEE Computer Architecture Letters, vol. 17, no. 1, pp. 59-63, 1 Jan.-June 2018, DOI: 10.1109/LCA.2017.2762308.
7. M. H. Lipasti and J. P. Shen. Exceeding the dataflow limit via value prediction // Proceedings of the 29th Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture. MICRO 29, 1996, pp. 226-237, doi: 10.1109/MICRO.1996.566464.
8. B. Calder, G. Reinman and D. M. Tullsen. Selective value prediction // Proceedings of the 26th International Symposium on Computer Architecture (Cat. No.99CB36367), 1999, pp. 64-74, doi: 10.1109/ISCA.1999.765940.
9. Yiannakis Sazeides and James E. Smith. The predictability of data values // In Proceedings of the 30th annual ACM/IEEE international symposium on Microarchitecture (MICRO 30). IEEE Computer Society, USA, 1997, pp. 248-258.
10. Evers, M., Yeh, T.Y. Understanding branches and designing branch predictors for high

performance microprocessors // Proceedings of the IEEE 89, 1610-1620 (2001).

11. Monchiero M., Palermo G. (2005) The Combined Perceptron Branch Predictor. // In: Cunha J.C., Medeiros P.D. (eds) Euro-Par 2005 Parallel Processing. Euro-Par 2005. Lecture Notes in Computer Science, vol 3648. Springer, Berlin, Heidelberg.

DOI: https://doi.org/10.1007/11549468_56

12. Salil Pant and Greg Byrd. A case for using value prediction to improve performance of transactional memory // In TRANSACT '09: 4th Workshop on Transactional Computing, feb 2009. URL: http://transact09.cs.washington.edu/35_paper.pdf (дата обращения: 31.08.2020).

13. Hadi Esmaeilzadeh, Adrian Sampson, Luis Ceze, and Doug Burger. Neural acceleration for generalpurpose approximate programs // In Proceedings of the 2012 45th Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture (MICRO-45). 449-460.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/MICRO.2012.48>.

14. Пекунов В.В. Язык программирования Planning C. Инструментальные средства. Новые подходы к обучению нейронных сетей. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 171 с.

15. Дюк, В., Самойленко, А. Data mining: учебный курс. СПб: Питер, 2001.

16. Пекунов, В.В. Новые методы параллельного моделирования распространения загрязнений в окрестности промышленных и муниципальных объектов // Дис. докт. тех. наук. – Иваново, 2009. – 274 с.

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Рецензируемая статья посвящена применению нестрогой явной программной интерполирующей и экстраполирующей мемоизации на языке программирования Planning C для минимизации затрат машинного времени на выполнение компьютерных программ.

Методология исследования базируется на обобщении литературных источников по теме работы, апробации предложенных авторами синтаксиса и семантики специальных директив включения явной программной интерполирующей и экстраполирующей мемоизации для процедур/функций в языке Planning C.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью сокращения времени выполнения компьютерных программ за счет исключения повторного вычисления ее отдельных блоков.

Научная новизна представленного исследования, по мнению рецензента, заключается в авторской формулировке понятия явной интерполирующей/экстраполирующей программной мемоизации, апробации предложенного программного формализма для некоторых подзадач численного моделирования и связанных с ними подзадач прогнозирования.

В статье структурно выделены следующие разделы: Интерполирующая/экстраполирующая мемоизация, Синтаксис и семантика директив включения мемоизации, Апробация, Выводы, Библиография.

Авторами стати рассмотрены различные варианты мемоизации в некоторых стандартных языках программирования: Haskell, Common Lisp, Perl. Результаты обзора известных вариантов реализации мемоизации представлены в отдельной таблице, наглядно иллюстрирующей освещение в рассматриваемых публикациях строгой и нестрогой мемоизации с применением аппаратной мемоизации на уровне инструкций и на уровне доступного программе специального кэша, а также программной неявной (встроенной в

компилятор) и программной явной (на уровне специальных инструкций) мемоизации. В статье рассмотрены условия, при которых возможны интерполирующая и экстраполирующая мемоизация могут дать положительный эффект; синтаксис и семантика директив включения мемоизации с необходимыми пояснениями; апробация внесенных предложений на примере решения трех конкретных математических задач. Выводы по статье содержат отражение основных результатов проведенного исследования.

Библиографический список включает 14 наименований источников, представленных научными статьями отечественных и зарубежных авторов, на которые в тексте приведены адресные ссылки, свидетельствующие о наличии в публикации апелляции к оппонентам.

По рецензируемому материалу можно высказать некоторые замечания и пожелания.

Во-первых, в тексте не выделены такие общепринятые в современных журнальных научных публикациях разделы как Введение, Материалы и методы исследования.

Во-вторых, представляется, что заключительная фраза в статье: «дополнительная вносимая ошибка составила от 0,01% до 15-16% (в зависимости от конкретной задачи)», требует более детального пояснения, поскольку ошибка 15% – весьма существенна.

В-третьих, описание библиографических источников, заключенных в квадратные скобки, целесообразно перенести из основного текста статьи в библиографический раздел, сопроводив их соответствующими ссылками.

Материал соответствует направлению журнала «Кибернетика и программирование», содержит элементы научной новизны и практической значимости, рекомендуется к опубликованию после доработки в соответствии с высказанными замечаниями.

Результаты процедуры повторного рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Статья посвящена исследованию подходов к мемоизации – техники оптимизации вычислений, позволяющей ускорить выполнение программ за счет хранения и повторного использования ранее вычисленных результатов. Основное внимание уделено разработке методов интерполирующей и экстраполирующей мемоизации, которые могут применяться для задач численного моделирования и других вычислительно сложных операций.

Автор использует комплексный подход к изучению мемоизации, включающий обзор существующих методов, разработку собственных синтаксических конструкций для языка Planning C, а также экспериментальное тестирование предложенных методов на примерах численных задач. Приведенная апробация включает сравнение производительности с применением и без применения мемоизации.

Тема исследования является актуальной в контексте растущей потребности в оптимизации вычислительных ресурсов, особенно при решении задач численного моделирования. Применение мемоизации позволяет значительно ускорить вычисления в задачах, связанных с прогнозированием, численной интеграцией и оптимизацией.

Статья предлагает оригинальный подход к реализации интерполирующей и экстраполирующей мемоизации в языке программирования Planning C. Научная новизна заключается в разработке специального синтаксиса и семантики директив мемоизации, что позволяет легко интегрировать этот механизм в программный код. Экспериментально подтверждена эффективность предложенного подхода.

Текст статьи логично структурирован: от теоретического введения и обзора

существующих методов до описания разработок и их апробации. Научный стиль изложения соответствует требованиям академических публикаций. Автор четко формулирует цели и задачи, обосновывает выбор методов и приводит результаты в табличной и текстовой форме. Библиографический список содержит актуальные и релевантные источники.

Выводы статьи подтверждают значительный потенциал предложенного подхода к мемоизации для ускорения вычислений. Автору удалось показать, что разработанные методы эффективны как в численном моделировании, так и в задачах прогнозирования. Статья представляет собой значительное научное исследование, но имеются направления, которые могут дополнительно усилить ее вклад в область программирования и численного моделирования.

Во-первых, автору рекомендуется рассмотреть возможность применения предложенных методов мемоизации к более широкому спектру задач. Например, расширить исследования на задачи обработки данных в реальном времени или задачи, связанные с оптимизацией в машинном обучении. Это позволит продемонстрировать универсальность подхода и его применимость за пределами численного моделирования. Во-вторых, перспективным направлением развития является создание инструментов для автоматической интеграции предложенных директив мемоизации в существующий программный код. Такой инструмент мог бы анализировать исходный код на предмет идентификации подходящих функций для мемоизации и автоматически предлагать оптимальные параметры. Это снизило бы порог входа для разработчиков, желающих использовать мемоизацию в своих проектах.

В-третьих, предложенная работа могла бы получить дополнительную ценность, если автор представит сравнительный анализ эффективности методов мемоизации, реализованных в Planning C, с аналогичными подходами в других языках программирования, таких как Python, C++ или Java. Такой анализ предоставит читателям больше данных для оценки конкурентоспособности подхода.

Кроме того, автору стоит уделить внимание созданию библиотеки примеров применения мемоизации в разных областях, таких как вычислительная физика, биоинформатика и экономическое моделирование. Это расширит интерес читательской аудитории и поможет популяризировать предложенный подход.

Наконец, важным направлением является исследование методов адаптивного управления погрешностью мемоизации в условиях нестабильных данных. Например, реализация динамических алгоритмов контроля точности предикторов могла бы обеспечить более надежное применение предложенных методов в задачах с высоким уровнем неопределенности.

В целом, данные рекомендации направлены на дальнейшее развитие исследуемой тематики и ее практическое применение в реальных условиях. Развитие работы в предложенных направлениях укрепит позиции автора в научном сообществе и сделает представленный подход доступным и полезным для более широкой аудитории.

Рекомендую принять статью к публикации без доработок. Она соответствует всем требованиям научного журнала, представляет собой значительный вклад в область программирования и обладает высоким потенциалом для дальнейших исследований.

Англоязычные метаданные

Analysis of modern optimization methods in "React"

Ratushniak Evgenii Alekseevich

Student, Faculty of Software Engineering and Computer Technology, ITMO National Research University

197101, Russia, St. Petersburg, Petrogradsky district, Kronverksky ave., 49

✉ evgrat123@mail.ru



Abstract. The article presents a comprehensive analysis of performance optimization methods for React applications: memoization (React.memo, useMemo, useCallback), list virtualization (react window, react virtualized), code splitting (React.lazy, Suspense), optimizing the Context API, and new capabilities of React 18 (automatic batching, Concurrent Mode). The analysis and performance data are based on various existing scientific research as well as the documentation of the optimization methods themselves. Developers are recommended to use the React Profiler API and Chrome Performance for measuring the performance of React applications. A test SPA with dynamic data filtering and three rendering options has been developed. Using the React Profiler API, the processing time for 1,000 to 20,000 elements was measured ten times, followed by statistical processing. The methodology includes a comprehensive theoretical analysis, an examination of the mechanisms of various optimization methods, and their impact on performance. The scientific novelty of the article lies in the comprehensive analysis and practical comparison of key approaches to optimization within the React framework. The practical significance of the work is justified by the fact that the results can be directly used in commercial software development. Additionally, the article conducts an experimental comparison of list virtualization libraries using a computer experiment, followed by statistical analysis. The results showed that react window provides up to a 95% increase in speed and stability under increasing load, while react virtualized offers enhanced functionality at the cost of slightly higher latency, as confirmed by other studies. The article contains not only a theoretical description but also practical examples that reveal optimization methods in real applications, which confirms its practical significance.

Keywords: react-virtualized, react-window, code splitting, lazy loading, single page applications, performance, React, optimization, profiling, web-interface

References (transliterated)

1. Iseal, S. Edge Computing and React: Enhancing Performance at the Edge. – 2025. – S. 24.
2. Sugaipov, S. A. A., Gerikhanov, Z. A. Optimizatsiya veb-razrabotki s pomoshch'yu React, Angular i Vue // Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya. – 2023. – № 98-10. – S. 141-143. – DOI 10.18411/trnio-06-2023-565. – EDN HYNKWA.
3. Veeranjanyulu, V. Performance Optimization Techniques in React Applications: A Comprehensive Analysis // International Journal of Research in Computer Applications and Information Technology. – 2024. – T. 7, № 2. – S. 1165-1177.
4. Savkin, S. S., Logvinov, D. V. Optimizatsionnye vozmozhnosti JavaScript-biblioteki REACT 18 // Vyzovy globalizatsii i razvitie tsifrovogo obshchestva v usloviyakh novoi real'nosti: sbornik materialov IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Moskva, 19 dekabrya 2022 goda. – Moskva: Alef, 2022. – S. 126-129. – DOI

- 10.34755/IROK.2022.97.75.019. – EDN ALNIUP.
5. Chen', K. Improving Front-end Performance through Modular Rendering and Adaptive Hydration (MRAH) in React Applications. – 2025. – Rezhim dostupa: <https://arxiv.org/abs/2504.03884>, svobodnyi.
 6. Toprak, Ahmet, Toprak, Feyzanur. Improving and Optimizing React Web Applications: Strategies and Techniques. – 2025. – S. 17.
 7. Piryushov, A. S., Piryushov, M. S. Sravnitel'nyi analiz vremeni renderinga komponentov pri ispol'zovanii razlichnykh instrumentov upravleniya sostoyaniyami v React-prilozheniyakh // Mezhdunarodnyi zhurnal informatsionnykh tekhnologii i energoeffektivnosti. – 2024. – T. 9, № 3(41). – S. 79-87. – EDN KPOFLF.
 8. Kim, A. Optimizatsiya re-renderinga komponentov instrumentami React // Nauchno-tekhnicheskie innovatsii i veb-tehnologii. – 2022. – № 1. – S. 4-10. – EDN JHYSXA.
 9. Dudak, A. Optimization of loading and performance in SPA on React // Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya. – 2024. – № 116-19. – S. 183-187. – DOI 10.18411/trnio-12-2024-899. – EDN JJQMMK.
 10. Iseal, S. Performance Benchmarking Techniques for React Applications. – 2025. – S. 14.
 11. Kravtsov, E. P. Razrabotka vysokoproizvoditel'nykh React-prilozhenii: metody i praktiki optimizatsii // European science. – 2024. – № 1 (69).
 12. Yarovaya, E. V. Nestandartnye arkhitektura v napisanie veb prilozhenii // Stolypinskii vestnik. – 2022.
 13. Dubaj, S., Pańczyk, B. Comparative of React and Svelte programming frameworks for creating SPA web applications // Journal of Computer Sciences Institute. – 2022. – T. 25. – S. 345-349. – DOI 10.35784/jcsi.3020. – EDN AYUSVM.
 14. Karić, A., Durmić, N. Comparison of JavaScript Frontend Frameworks-Angular, React, and Vue // International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT). – 2024. – S. 1383-1390. – DOI 10.38124/ijisrt/ijisrt.
 15. Kasenda, R., Tenda, J., Iman, E., Manantung, J., Moekari, Z., Pantas, M. The Role and Evolution of Frontend Developers in the Software Development Industry // Jurnal Syntax Admiration. – 2024. – T. 5. – S. 5191-5196. – DOI 10.46799/jsa.v5i11.1852.
 16. Karka, Narender. Front-End Performance Optimization: A Comprehensive Guide // International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology. – 2025. – T. 11. – S. 83-100. – DOI 10.32628/CSEIT251112389.
 17. Mathew, Prakash. Front-End Performance Optimization for Next-Generation Digital Services // Journal of Computer Science and Technology Studies. – 2025. – T. 7. – S. 993-1000. – DOI 10.32996/jcsts.2025.7.4.111.
 18. Yan, Fenglong, Xu, Zhao, Zhong, Yu, HaiBei, Zhang, Ge, Chang. Research on Performance Optimization Scheme for Web Front-End and Its Practice. – 2021. – DOI 10.1007/978-981-15-8411-4_118.
 19. Saks, E. JavaScript frameworks: Angular vs React vs Vue. – 2019.
 20. Paakkanen, J. Upcoming JavaScript Web Frameworks and Their Techniques. – LUT University, 2022. – 62 s.

Two-step semantic clustering of embeddings as an alternative to LDA for infometric analysis of industry news.

Konnikov Evgenii Aleksandrovich

PhD in Economics

Associate Professor; Institute of Industrial Management, Economics and Trade; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

194021, Russia, St. Petersburg, Vyborg district, Novorossiysk St., 50

✉ konnikov.evgeniy@gmail.com

**Kryzhko Darya Aleksandrovna**

PhD in Economics

Associate Professor; Institute of Industrial Management, Economics and Trade; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

194021, Russia, St. Petersburg, Vyborg district, Novorossiysk St., 50

✉ darya.kryz@yandex.ru



Abstract. The subject of the research is the development and validation of an alternative approach to thematic modeling of texts aimed at overcoming the limitations of classical Latent Dirichlet Allocation (LDA). The object of the study is short Russian-language news texts about nuclear energy, presented in the form of the "AtomicNews" corpus. The authors thoroughly examine various aspects of the topic, such as the impact of sparsity on the quality of thematic modeling, issues of theme interpretability, and the limitations of a priori fixing the number of topics. Special attention is paid to the geometric interpretation of text semantics, in particular, the transformation of lexical units into the space of pre-trained embeddings and subsequent clustering aimed at forming document thematic profiles. The research focuses on the comparative analysis of the new method and LDA using coherence, perplexity, and thematic diversity metrics. The proposed approach aims to create an interpretable, computationally lightweight, and noise-resistant model suitable for online monitoring of news flows. The research methodology is based on a two-stage semantic smoothing process—embedding representation of lemmas using Sentence-BERT and agglomerative cosine clustering, followed by the application of K-means to the thematic profiles of documents. The scientific novelty of the study lies in the development and empirical justification of a thematic modeling scheme that replaces probabilistic word generation with geometric smoothing of embeddings. The proposed approach departs from the assumptions of the "bag of words" and a fixed number of topics, forming thematic coordinates of documents through density clusters in semantic space. This enhances theme interpretability, reduces sensitivity to text sparsity, and avoids the collapse of topic distribution in short messages. Experiments on the "AtomicNews" corpus demonstrated a statistically significant improvement compared to classical LDA: a 5% reduction in perplexity, a 0.15-point increase in topic coherence, and an increase in thematic diversity. The method also demonstrated computational efficiency—the entire procedure takes seconds on a CPU, making it suitable for application in resource-constrained environments. Thus, the transition from probabilistic decomposition to geometric analysis of embeddings represents a promising direction in thematic modeling of industry texts.

Keywords: topic profile, lemmatization, textual information, Sentence-BERT, Latent Dirichlet allocation, topic coherence, cosine clustering, word embeddings, topic modeling, media monitoring

References (transliterated)

1. Alattar F., Shaalan K. Emerging research topic detection using filtered-Ida // AI. –

2021. – Т. 2. – № 4. – С. 578-599.
2. Kim M., Kim D. A suggestion on the LDA-Based topic modeling technique based on ElasticSearch for Indexing Academic Research Results // Applied Sciences. – 2022. – Т. 12. – № 6. – С. 3118.
3. Qiu M. et al. A topic modeling based on prompt learning // Electronics. – 2024. – Т. 13. – № 16. – С. 3212.
4. Ogunleye B. et al. Comparison of topic modelling approaches in the banking context // Applied Sciences. – 2023. – Т. 13. – № 2. – С. 797.
5. Vargas C., Ponce H. Recurrent embedded topic model // Applied Sciences. – 2023. – Т. 13. – № 20. – С. 11561.
6. Krasnov F., Sen A. The number of topics optimization: Clustering approach // Machine Learning and Knowledge Extraction. – 2019. – Т. 1. – № 1. – С. 25.
7. Williams L. et al. Topic modelling: Going beyond token outputs // Big Data and Cognitive Computing. – 2024. – Т. 8. – № 5. – С. 44. DOI: 10.3390/bdcc8050044 EDN: WGBWYP
8. Rodionov D. G. i dr. Avtomatizirovannyi algoritm kvantifikatsii naibolee veroyatnogo znacheniya regiona professional'nogo stanovleniya predstavatelya nauchno-issledovatel'skogo kollektiva dlya tselei kal'kulirovaniya koeffitsienta mul'tikul'turalizma // Ekonomicheskie nauki. – 2021. – № 202. – С. 154-163. DOI: 10.14451/1.202.154 EDN: LETTFT
9. Murakami R., Chakraborty B. Investigating the efficient use of word embedding with neural-topic models for interpretable topics from short texts // Sensors. – 2022. – Т. 22. – № 3. – С. 852. DOI: 10.3390/s22030852 EDN: GXMHBG
10. Koltcov S. et al. Analyzing the influence of hyper-parameters and regularizers of topic modeling in terms of renyi entropy // Entropy. – 2020. – Т. 22. – № 4. – С. 394. DOI: 10.3390/E22040394 EDN: KXJCBE
11. Rodionov D. G. i dr. Tematicheskoe modelirovanie informatsionnoi sredy mediakompanii: instrumental'nyi kompleks LDA-TF-IDF // Myagkie izmereniya i vychisleniya. – 2024. – Т. 76, № 3. – С. 72-84. DOI: 10.36871/2618-9976.2024.03.006 EDN: COCJYG
12. Konnikov E. A. i dr. Metodicheskaya detalizatsiya protsessa modelirovaniya svoistv sushchnostno-soderzhatel'nogo posyla, kodiruемого v forme simvol'nykh konstruktov dannykh // Ekonomicheskii vestnik. – 2024. – Т. 3, № 2. – С. 8-18.
13. Cheng H. et al. A neural topic modeling study integrating SBERT and data augmentation // Applied Sciences. – 2023. – Т. 13. – № 7. – С. 4595.
14. Qiu M. et al. A topic modeling based on prompt learning // Electronics. – 2024. – Т. 13. – № 16. – С. 3212.
15. Um T., Kim N. A study on performance enhancement by integrating neural topic attention with transformer-based language model // Applied Sciences. – 2024. – Т. 14. – № 17. – С. 7898.
16. Nanyonga A. et al. Does the Choice of Topic Modeling Technique Impact the Interpretation of Aviation Incident Reports? A Methodological Assessment // Technologies. – 2025. – Т. 13. – № 5. – С. 209.
17. Rodionov D. G., Karpenko P. A., Pashinina P. A. Kvantifikatsiya informatsionnoi sredy kak instrument investitsionnogo analiza // Ekonomicheskie nauki. – 2021. – № 204. – С. 144-153. DOI: 10.14451/1.204.144 EDN: FOZMSH
18. Markov A. K. i dr. Sravnitel'nyi analiz primenyaemykh tekhnologii obrabotki

estestvennogo yazyka dlya uluchsheniya kachestva klassifikatsii tsifrovyykh dokumentov // International Journal of Open Information Technologies. – 2024. – T. 12. – № 3. – S. 66-77. EDN: TUBOSI

19. Pais N., Ravishanker N., Rajasekaran S. Supervised Dynamic Correlated Topic Model for Classifying Categorical Time Series // Algorithms. – 2024. – T. 17. – № 7. – S. 275. DOI: 10.3390/a17070275 EDN: JFXYZW
20. Farkhod A. et al. LDA-based topic modeling sentiment analysis using topic/document/sentence (TDS) model // Applied Sciences. – 2021. – T. 11. – № 23. – S. 11091.

Designing the architecture of the client-server interaction protocol for web applications based on websocket

Fedulov Aleksei Alekseevich 

Postgraduate student; Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education National Research University 'MEI'; National Research University 'MEI'

111250, Russia, Moscow, Lefortovo district, Krasnokazarmennaya str., 14, building 1

✉ afed2000@yandex.ru

Abstract. The subject of the research is the design of the architecture of the client-server protocol for web applications based on the WebSocket technology. The object of the study is the mechanisms for bidirectional real-time data exchange and existing solutions based on HTTP/HTTPS, SSE, SignalR, gRPC-Web, Socket.IO, and WS. The author examines in detail aspects of the topic such as formalization and unification of the logical channel structures, message routing, connection activity monitoring, and automatic session recovery. Special attention is given to analyzing the advantages and limitations of each approach to develop requirements for a new protocol architecture. The work includes a comparative analysis of existing libraries and technologies, which helped identify key parameters for effective, scalable, and fault-tolerant implementation of bidirectional interaction. The design method used is the MVCS (Model-View-Controller-Service) pattern, supplemented by the modular organization of the SingleSocket library and an analytical comparison of existing technological solutions in client-server interaction. The main conclusions of the conducted research are the development and implementation of a protocol architecture that provides a balanced and technically justified approach to bidirectional real-time data exchange. A significant contribution of the author to the research topic is the formalization of the declarative structure of channels tied to controllers, the implementation of a configurable connection activity monitoring mechanism on the server with automatic termination of inactive sessions, and the built-in logic for connection recovery on the client. The novelty of the research lies in the application of the MVCS architectural model to enhance structuring, the use of a universal JSON format with channel routing, and the modular implementation of components for reuse and simplified integration. The proposed architecture serves as a solid foundation for creating scalable, reliable, and flexible modern information systems.

Keywords: modular architecture, MVCS architecture, session recovery mechanisms, connection activity management, network message routing, real-time, bidirectional communication, WebSocket technology, design of protocol architecture, client-server interaction

References (transliterated)

1. Sharma N., Agarwal R. HTTP, WebSocket, and SignalR: A Comparison of Real-Time Online Communication Protocols // Mining Intelligence and Knowledge Exploration: 9th International Conference, MIKE 2023, Proceedings. – Cham: Springer, 2023. – S. 128-135.
2. Murley P., Ma Z., Mason J., Bailey M., Kharraz A. Websocket adoption and the landscape of the real-time web // WWW '21: Proceedings of the Web Conference 2021. – New York: ACM, 2021. – S. 1192-1203.
3. Pesoshina N.T., Nuriev M.G., Minyazev R.Sh. Razrabotka korporativnogo veb-chata s ispol'zovaniem biblioteki SignalR // Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal. – 2024. – № 11. – S. 1-15.
4. Kaminski L., Kozlowski M., Sporysz D., Wolska K., Zaniewski P., Roszczyk R. Comparative Review of Selected Internet Communication Protocols // Foundations of Computing and Decision Sciences. – 2023. – № 48(1). – S. 39-56.
5. Morchid A., Et-taibi B., Oughannou Z., Alami R.E., Qjidaa H., Jamil M.O., Boufounas E., Riduan M. Abid IoT-enabled smart agriculture for improving water management: A smart irrigation control using embedded systems and Server-Sent Events // Scientific African. – 2025. – № 27. – S. 1-17.
6. Price M.J. Apps and Services with .NET. – 2-e izd. – Birmingham: Packt Publishing, 2023. – 765 s.
7. Karam S.J., Abdulrahman B.F. Using Socket.io Approach for Many-to-Many Bi-Directional Video Conferencing // Al-Rafidain Journal of Computer Sciences and Mathematics. – 2021. – № 16(1). – S. 81-86.
8. Alpatov A.N., Yurov I.I. Algoritm i programmaya realizatsiya sovmestnogo redaktirovaniya graficheskikh skhem v rezhime real'nogo vremeni s ispol'zovaniem biblioteki Socket.IO // Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody. 2024. № 1. S. 10-19.
9. Lyaskovskii V.L., Fedulov A.A. Analiz primenimosti i potentsial'noi poleznosti ispol'zovaniya shablona proektirovaniya model'-predstavlenie-kontroller-servis pri razrabotke avtomatizirovannykh sistem sbora i obrabotki tsifrovyykh otchetnykh dokumentov dlya promyshlennykh predpriyatii // IT-Standart. – 2024. – № 2(39). – S. 4-13.
10. Vasilevskii S.M., Shedl'bauer A.A., Morozov D.A. Veb-prilozheniya real'nogo vremeni // Sbornik materialov VII-i Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. – Kursk: Yugo-Zapadnyi gosudarstvennyi universitet, 2023. – S. 174-178.

Specification of regression analysis of the impact of the information environment on the company's financial indicators

Konnikov Evgenii Aleksandrovich 

PhD in Economics

Associate Professor; Higher School of Engineering and Economics; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

195251, Russia, St. Petersburg, Kalininsky district, Politechnicheskaya str., 29

✉ konnikov_ea@spbstu.ru

Polyakov Prohor Aleksandrovich 

Researcher; Polytech-Invest Research Laboratory

194295, Russia, St. Petersburg, Vyborg district, Ivan Fomin str., 14 K. 2 letters A

✉ prohor@polyakov-box.ru

Rodionov Dmitrii Grigor'evich 

Doctor of Economics

Professor; Institute of Industrial Management, Economics and Trade; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
 Director of the Higher School of Engineering and Economics; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

194021, Russia, St. Petersburg, Vyborg district, Novorossiysk St., 50

✉ drodionov@spbstu.ru

Abstract. The subject of the research is the development and experimental validation of a comprehensive regression specification designed for the quantitative assessment of the elasticity of market stock values to thematic information flows. The object of the research includes daily time series of thematic intensities, extracted by the Latent Dirichlet Allocation algorithm from the industry news corpus, and the stock exchange differential "closing-opening" of the shares of PJSC "GMK Norilsk Nickel". The author thoroughly examines aspects such as Corr- γ -split normalization, which eliminates the bimodality of distributions, the orthogonalization of "scale-asymmetry," which reduces multicollinearity, Partial Least Squares projection for aggregating features, and regularized Ridge regression for robust forecasting. Special attention is given to how the combination of these stages forms a statistically sound and interpretable bridge between textual signals and financial metrics, ensuring the practical applicability of the model to the dynamics of high-frequency informational disturbances. The methodological foundation consists of Corr- γ -split normalization, "Sum/Diff" orthogonalization, Partial Least Squares projection, and Ridge regression with cross-validation, combined in a full factorial experiment of forty-five alternative specifications. The main conclusions of the conducted research are the confirmation that only a comprehensive integration of Corr- γ -split normalization, "Sum/Diff" orthogonalization, PLS projection, and Ridge regression forms a statistically robust and practically applicable model of the influence of news background on market price. The novelty of the work lies in the introduction of a metrically justified threshold T^* , which eliminates the inherent bimodality of LDA intensity distributions, as well as in the development of interpretable decompositions of flows into size and asymmetry, which enhances the explanatory power of elasticity coefficients. The empirical testing on data from PJSC "GMK Norilsk Nickel" showed a reduction in RMSE by 13%, an increase in CV- R^2 to 0.78, and an improvement in the aggregate quality score by 0.32 compared to the baseline model. The obtained results prove that the proposed specification is scalable to various corporate or industry information flows and can serve as a reliable tool for monitoring and forecasting market indicators in the context of high-frequency informational disturbances.

Keywords: PLS projection, Time lags, Heteroskedasticity, Multi-criteria calibration, Bayesian priors, Financial performance, Elasticity, Regression analysis, Information environment, Ridge regression

References (transliterated)

1. Bazilevskii M.P. Sravnitel'nyi analiz raznykh podkhodov k otsenke parametrov regressionnykh modelei s pomoshch'yu metoda naimen'shikh modulei na primere modelirovaniya stoimosti domov po vyborke bol'shogo ob'ema // Inzhenernyi vestnik Dona. 2025. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2025/10130. EDN: DMVQOG.

2. Sennikov A.S., Klyanina L.N. *Primenenie ekonometricheskikh modelei dlya formirovaniya effektivnykh portfelei rossiiskikh tsennykh bumag bez ogranicheniya prav prodazhi* // *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2016. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3641. EDN: WWRHWJ.
3. Tsvil' M.M., Breus D.A. *Ekonometricheskoe modelirovanie i prognozirovanie ob'emov tamozhennykh platezhei v regione deyatelnosti Rostovskoi tamozhni* // *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2017. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4284. EDN: ZWZEMB.
4. Dzhangarov A.I., Akhmetova Kh.A. *Programmnoe obespechenie mnogofaktornogo regressionnogo analiza pri narushenii predpolozheniya o normal'nom zakone raspredeleniya nablyudenii* // *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2019. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5786. EDN: RWUVII.
5. Korchagin S.A., Rubtsov D.Yu., Serdechnyi D.V., Bepalova N.V. *Primenenie modelei mashinnogo obucheniya dlya prognozirovaniya ispolneniya gosudarstvennykh kontraktov* // *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2024. № 9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2024/9507. EDN: UCUPGE.
6. Aksenov P.N., Bogdanova T.A., Konnikov E.A. *Vliyanie informatsionnoi sredy na ekonomicheskie rezul'taty v ramkakh event-industrii* // *Finansovy biznes*. 2022. № 4(226). S. 121-127. EDN: BKPXOPQ.
7. Rodionov D.G., Konnikov E.A., Shadrov K.S. *Instrumenty analiza vliyaniya emotsional'noi okraski novostnogo fona na izmenenie kursa kriptovalyut* // *Ekonomicheskie nauki*. 2022. № 211. S. 139-160. DOI: 10.14451/1.211.139. EDN: AIQJMP.
8. Ilaltdinova A.I., Rodionov D.G., Konnikov E.A. *Vliyanie napravlenno tsifrovogo informatsionnogo fona na stoimost' aktsii TNK* // *Informatsionnye sistemy i tekhnologii*. 2021. № 2(124). S. 23-31. EDN: SDSYQF.
9. Rodionov D.G., Pashinina P.A., Konnikov E.A. *Model' vliyaniya informatsionnoi sredy finansovogo rynka na osnovnye parametry finansovykh aktivov* // *Ekonomicheskie nauki*. 2022. № 213. S. 74-84. DOI: 10.14451/1.213.74. EDN: DZYRNI.
10. Liu A., Chen J., Yang S.Y., Hawkes A.G. *The Flow of Information in Trading: An Entropy Approach to Market Regimes* // *Entropy*. 2020. № 22(9). DOI: 10.3390/e22091064. EDN: SHUJTJ.
11. Mou Y., Zhou L., Chen W., Liu J., Li T. *Filter Learning-Based Partial Least Squares Regression and Its Application in Infrared Spectral Analysis* // *Algorithms*. 2025. № 18(7). DOI: 10.3390/a18070424.
12. Emura T., Matsumoto K., Uozumi R., Michimae H. *G.Ridge: An R Package for Generalized Ridge Regression for Sparse and High-Dimensional Linear Models* // *Symmetry*. 2024. № 16(2). DOI: 10.3390/sym16020223. EDN: CAODAB.
13. Gromova A.A., Tsareva A.K. *Big data analytics: parsing, regression and visualization on the example of the Automotive market* / A.A. Gromova, A.K. Tsareva // 02-07 dekabrya 2024 goda. 2025. S. 156-158. EDN: MAZXIU.
14. Tran H.H., Rodionov D.G., Konnikov E.A. *Analysis Vietnam's wind power potential in the context of sustainable development* / H.H. Tran, D.G. Rodionov, E.A. Konnikov // *Intelligent engineering economics and Industry 5.0 (IEEI_5.0_INPROM): Collection of works of the international scientific and practical conference. In 2 volumes, Sankt-Peterburg, 25-28 aprelya 2024 goda. Sankt-Peterburg: POLITEKh-PRESS, Sankt-Peterburgskii politekhnicheskii universitet Petra Velikogo, 2024. S. 149-153. DOI: 10.18720/IEP/2024.1/35. EDN: TPFIXF.*

15. Zaitsev A., Rodionov D., Khudaykulov S. Modeling the Impact of the Quality of the Political and Economic Environment on Population Migration / A. Zaitsev, D. Rodionov, S. Khudaykulov [i dr.] // Proceedings of the 7th International Conference on Future Networks and Distributed Systems, Dubai United Arab Emirates. New York, NY, USA: ACM, 2023. S. 139-156. DOI: 10.1145/3644713.3644732. EDN: LXJTFT.
16. Konnikov E.A., Starchenkova O.D., Burova E.V. The influence of socio-psychological context on the educational environment / E.A. Konnikov, O.D. Starchenkova, E.V. Burova // *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*. 2023. T. 8, № 12(141). S. 147-159. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2023.12.08.012. EDN: BUIKUH.
17. Avtomeenkova Yu.O., Konnikov E.A., Kryzhko D.A. The influence of industrial structure on the level of education in the regions of Russia / Yu.O. Avtomeenkova, E.A. Konnikov, D.A. Kryzhko // *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*. 2023. T. 8, № 12(141). S. 160-177. DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2023.12.08.013. EDN: DXVJQH.
18. Starchenkova O.D., Polyakov P.A. Sravnitel'nyi analiz programmno-matematicheskikh metodov sopostavleniya dannykh v informatsionnoi srede / O.D. Starchenkova, P.A. Polyakov // *Molodezhnaya nedelya nauki instituta promyshlennogo menedzhmenta, ekonomiki i trgovli: sbornik trudov vserossiiskoi studencheskoi nauchno-uchebnoi konferentsii*, Sankt-Peterburg, 02-07 dekabrya 2024 goda. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskii politekhnicheskii universitet Petra Velikogo, 2025. S. 153-155. EDN: SWDMWT.
19. Rodionov D.G., Lyamin B.M., Kuporov Yu.Yu. Avtomatizirovannyi analiz estestvennoi informatsii / D.G. Rodionov, B.M. Lyamin, Yu.Yu. Kuporov [i dr.]. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskii politekhnicheskii universitet Petra Velikogo, 2024. 191 s. ISBN 978-5-7422-8587-8. EDN: JJBGCD.
20. Rodionov D.G., Lyamin B.M., Kryzhko D.A., Konnikov E.A. Fizika informatsii v usloviyakh tsifrovizatsii / D.G. Rodionov, B.M. Lyamin, D.A. Kryzhko, E.A. Konnikov. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskii politekhnicheskii universitet Petra Velikogo, 2024. 160 s. ISBN 978-5-7422-8843-5. EDN: KRNILU.
21. Konnikova O.A., Konnikov E.A. Empiricheskoe issledovanie realizatsii kontseptsii data-driven marketing v rossiiskikh kompaniyakh / O.A. Konnikova, E.A. Konnikov // *Upravlenie biznesom v tsifrovoi ekonomike: sed'maya mezhdunarodnaya konferentsiya*, Sankt-Peterburg, 21-22 marta 2024 goda. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi universitet, 2024. S. 176-180. EDN: ORWYHB.

Processing requests with hierarchical nature of shared resources

Kirilov Vladimir Syatoslavovich 

PhD in Technical Science

Associate Professor; Department of Computer Security; North Caucasus Federal University

355045, Russia, Stavropol territory, Stavropol, ul. Serova, 8, office 28

✉ cnhfysqrjl@gmail.com

Abstract. The subject of this research is the development and analysis of a data structure and algorithm for managing parallel message execution in a microservice architecture without a message broker. In the context of the transition to a microservice architecture and asynchronous messaging, especially in the absence of a centralized broker, there is a need for effective methods to ensure the order of processing messages that affect shared resources.

The problem lies in the fact that traditional methods, such as segmentation, do not guarantee compliance with the order of message processing during parallel execution and become more complicated when it is necessary to synchronize access to resources. As an alternative to traditional approaches, a method using a shared queue and a thread pool is being considered. The paper explores and proposes a data structure that provides the possibility of parallel message processing provided there are no lock conflicts, thereby ensuring the correct order of operations related to shared resources and avoiding mutual locks. The main goal is to create resource access control mechanisms adapted to the microservice architecture, without complicating the message processing logic and avoiding problems associated with multithreading. The paper uses an analytical approach to the development of a data structure and algorithm based on the formalization of the synchronization problem, as well as a theoretical analysis of the algorithmic complexity and correctness of the proposed solution. The scientific novelty of the work lies in the proposal of a new data structure using ordered sets and waiting lists for effective management of parallel processing of asynchronous messages in microservice architectures, especially where there is no message broker. The proposed algorithm allows to dynamically determine the locks associated with messages, as well as separate blocking and non-blocking messages, which makes it possible to execute them in parallel. The proposed data structure and algorithm make it possible to change the granularity of blocked resources without complicating message processing procedures, and simplify multithreaded programming by allowing each message processing procedure to be considered as single-threaded. The algorithm does not have the problem of mutual blocking of resources, which increases the overall fault tolerance of the system. The identified shortcomings related to resource blocking are proposed to be eliminated in further research.

Keywords: record, broker message, protocol, server, algorithm, data, context, hierarchies, microservices, message

References (transliterated)

1. Asynchronous Request-Reply pattern. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/patterns/async-request-reply>
2. Microservices: Asynchronous Request Response Pattern. URL: <https://medium.com/@pulkitswarup/microservices-asynchronous-request-response-pattern-6d00ab78abb6>
3. Request/Response Pattern with Spring AMQP. URL: <https://reflectoring.io/amqp-request-response/>
4. Richardson C. Microservices Patterns. – 2019.
5. Hohpe G., Woolf B. Enterprise Integration Patterns: Designing, Building, and Deploying Messaging Solutions. – 20.
6. Fowler M., Rice D., Foemmel M., Hieatt E., Mee R., Stafford R. Patterns of Enterprise Application Architecture. – 2004.
7. Sadalage P., Fowler M. NoSQL Distilled: A Brief Guide to the Emerging World of Polyglot Persistence. – 2012.
8. Wang G., Shi Zhijie J., Nixon M., Han S. SoK: Sharding on Blockchain. // AFT '19: Proceedings of the 1st ACM Conference on Advances in Financial Technologies. – 2019. – S. 41-61. URL: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3318041.3355457>
9. Introducing Elastic Scale preview for Azure SQL Database. URL: <https://azure.microsoft.com/en-us/blog/introducing-elastic-scale-preview-for-azure-sql-database>

10. Tasks and Parallelism: The New Wave of Multithreading. // [Elektronnyi resurs] URL: <https://www.codemag.com/article/1211071/Tasks-and-Parallelism-TheNew-Wave-of-Multithreadin>
11. Coroutine Is a New Thread. URL: <https://medium.com/globant/coroutine-is-a-new-thread-934d9956ce2e>
12. Threads vs Coroutines in Kotlin. URL: <https://www.baeldung.com/kotlin/threads-coroutines>
13. Christudas B. Query by Slice, Parallel Execute, and Join: A Thread Pool Pattern in Java. URL: <https://web.archive.org/web/20080207124322/http://today.java.net/pub/a/today/2008/01/31/query-by-slice-parallel-execute-join-thread-pool-pattern.html>
14. Programming the Thread Pool in the .NET Framework. URL: [https://learn.microsoft.com/en-us/previous-versions/dotnet/articles/ms973903\(v=msdn.10\)?redirectedfrom=MSDN](https://learn.microsoft.com/en-us/previous-versions/dotnet/articles/ms973903(v=msdn.10)?redirectedfrom=MSDN)
15. Introduction to Thread Pools in Java. URL: <https://www.baeldung.com/thread-pool-java-and-guava>
16. O'Neil P. et al. ORDPATHs: Insert-friendly XML node labels // Proceedings of the 2004 ACM SIGMOD international conference on Management of data. – 2004. – S. 903-908. URL: <http://www.cse.iitb.ac.in/infolab/Data/Courses/CS632/2014/2007/Papers/ordpath.pdf>
17. PostgreSQL index-ltree. URL: <http://www.sai.msu.su/~megera/postgres/gist>
18. Kirillov V.S. Binarnoe kodirovanie ierarkhicheskikh struktur // Vestnik KRAUNTS. Fiziko-matematicheskie nauki. – 2023. – T. 43, № 2. – S. 44-54. <https://doi.org/10.26117/20796641-2023-43-2-44-54> ISSN 2079-664 EDN: XUMKPG

On the division of responsibility for errors in the operation of robotic systems

Tikhanychev Oleg Vasilyevich 

PhD in Technical Science

Deputy Head of the Department of Advanced Development Management, "Technoserv Group"

13 Yunosti str., Moscow, 111395, Russia

 to.technoserv@gmail.com

Abstract. The relevance of choosing the subject of research as the basis for ensuring the safety of the use of robotic systems for various purposes, primarily those using artificial intelligence for control, and the object of research, which is the problem of sharing responsibility for the development and operation of robotic systems, is determined by the existing contradiction between the need for autonomous use of robotic systems and the complexity of software implementation of this requirement. At the same time, in robotics, quite often, it is the errors of control algorithms that are the source of most problems. Based on the analysis of regulatory documents regulating the development of artificial intelligence tools, possible problems of ensuring the safety of the use of autonomous robotic systems are analyzed. The conclusion is synthesized that, in the current state, these documents do not provide solutions to the security problem of artificial intelligence systems. A systematic approach was chosen as the methodological basis of the study. The use of a systematic approach, decomposition methods and comparative analysis made it possible to consider in a complex the problems of dividing the areas of responsibility of developers and operators of

autonomous and partially autonomous robots implementing the principles of control based on artificial intelligence. The research's source base consists of scientific articles, regulatory and legislative documents that are publicly available. It is concluded that the existing approaches to training and self-learning of artificial intelligence systems that control autonomous robots "blur" the boundaries of responsibility of the participants in the process, which, in theory, can lead to critical situations during operation. With this in mind, based on the analysis of a typical development and application process, it is proposed to clarify the distribution of responsibility, as well as add new participants to the process: supplement it with specialists focused on the safety and impartiality of artificial intelligence (AI Alignment), and also provide a group approach in the development of artificial intelligence and machine learning algorithms, reducing the subjectivity factor.. Theoretically, the application of the principles of responsibility sharing synthesized in the article will ensure an increase in the safety of robotic systems based on the use of artificial intelligence.

Keywords: developer responsibility, algorithm security control, operating errors, development errors, artificial intelligence, autonomous robots, robotic systems, testing quality, operator's liability, division of responsibility

References (transliterated)

1. Chirov D.S., Novak K.V. Perspektivnye napravleniya razvitiya robototekhnicheskikh kompleksov spetsial'nogo naznacheniya // Voprosy bezopasnosti. 2018. № 2. S. 50-59. DOI: 10.25136/2409-7543.2018.2.22737 URL: https://e-notabene.ru/nb/article_22737.html
2. John W. Tammen NATO Basic Concept of Warfare: Looking Ahead – The Changing Nature of Warfare // NATO Review. 2021 URL: <https://www.nato.int/docu/review/ru/articles/2021/07/09/bazovaya-kontseptsiya-boevyh-dejstvij-nato-v-perspektive-menyayushchisya-harakter-vojnny/index.html>.
3. Khripunov S.P., Chirov D.S., Blagodaryashchev I.V. Voennaya robototekhnika: sovremennye trendy i vektory razvitiya // Trendy i upravlenie. 2015. № 4. S. 410-422. URL: https://e-notabene.ru/tumag/article_67141.html
4. Pflimlin É Drones et robots: La guerre des futurs. France: Levallois-Perret. 2017.
5. Roosevelt, Ann. Army Directs Cuts, Adjustments, To FCS. Defense Daily. 2017.
6. Hamilton T How AI will Alter Multi-Domain Warfare // Future Combat Air & Space Capabilities Summit. 2023. No.4. URL: <https://www.aerosociety.com/events-calendar/raes-future-combat-air-and-space-capabilities-summit>.
7. Tikhanychev O.V. Exploring Morality and Politeness in the Context of Robotic Systems: A Conceptual Interpretation // BIO Web of Conferences. 2024, No.138. 03020. doi.org/10.1051/bioconf/202413803020.
8. Beard J. Autonomous weapons and human responsibilities // Georgetown Journal of International Law. 2014. No. 45, rr. 617–681.
9. Schuller A. At the Crossroads of Control: The Intersection of Artificial Intelligence in Autonomous Weapon Systems with International Humanitarian Law // Harvard National Security Journal. 2017. No. 8. pp. 379-425.
10. Ukhobotov V.I., Izmet'sev I.V. Ob odnoi zadache presledovaniya pri nalichii soprotivlenii sredy // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Matematika. Mekhanika. Fizika». 2016. № 8(2). S. 62-66. doi.org/10.14529/mmph160208.
11. Tikhanychev O.V. Self-Check System of Heuristic Algorithms as a "New Moral" of

Intelligent Systems // AIP Conference Proceedings. 2023. No. 2700. 040028
<https://doi.org/10.1063/5.0124956>.

12. Ćwiałka P. Testing Procedure of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) Trajectory in Automatic Missions // Applied Science. 2019. No. 9. pp. 3488.
doi.org/10.3390/app9173488.
13. Johnson D Computer Systems: Moral entities but not moral agents // Ethics and Information Technology. 2016. No. 8. pp. 195-204. doi.org/10.1007/s10676-006-9111.
14. Dubanov A.A. Modelirovanie traektorii presledovatelya v prostranstve pri metode parallel'nogo sblizheniya // Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody. 2021. № 2. S. 1-10. doi.org/10.7256/2454-0714.2021.2.36014.
15. Tikhanychev O.V. Development of situational algorithms for the use of robotic systems // E3S Web of Conferences. 2024. No. 531. 02004.
doi.org/10.1051/e3sconf/202453102004.
16. Kurdenkova E.O., Cherepnina M.S., Chistyakova A.S., Arkhipenko K.V. Vliyaniye transformatsii na uspechnost' sostyazatel'nykh atak dlya klassifikatorov izobrazhenii Clipped BagNet i ResNet. Trudy ISP RAN, tom 34. Vyp. 6. 2022. С. 101-116.
[doi.org/10.15514/ISPRAS-2022-34\(6\)-7](https://doi.org/10.15514/ISPRAS-2022-34(6)-7).

Automating Windows Application deployment using Alt Domain GPO

Tomilova Sof'ya Dmitrievna 

Bachelor's degree; Department of Information Technology Security, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)

65 Leninsky Prospekt, building 1, Moscow, 119296, Russia

✉ sofyatomilova2004@mail.ru

Shibaev Dmitry Olegovich 

Bachelor's degree; Department of Information Technology Security, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)

65 Leninsky str., building 1, Moscow, 119296, Russia

✉ dima.sh1baev@yandex.ru

Abstract. The subject of the study is the process of automating the deployment of Windows applications in mixed IT infrastructures, including Alt Linux and Windows systems. Special attention is paid to exploring the possibilities of the Alt Domain for applying group policies (GPO) in order to centrally manage the installation and configuration of applications such as Yandex Browser and Yandex Telemost. The paper analyzes the effectiveness of using GPO in the Alt Domain to ensure network stability, ease of administration, and reduce setup time. The author examines in detail the integration of GPO with the Samba protocol, which allows for compatibility between Linux and Windows. This approach may be useful for organizations with a hybrid IT infrastructure. This topic is relevant in the context of the growing need for automation of management processes, which makes it in demand for both commercial and educational institutions. The methodology includes configuring the Alt Domain to work with GPO, testing automated deployment of Windows applications, and analyzing compatibility and stability in a mixed environment. The scientific novelty of the research lies in the adaptation and application of Alt Domain tools for the centralized management of Windows application deployment processes using group policies (GPOs). For the first time, the possibility of successful automated deployment of applications such as Yandex Browser and Yandex

Telemost in mixed IT environments, including Alt Linux and Windows, has been demonstrated. The results confirmed the hypotheses about the compatibility of GPO with Alt Linux through integration with the Samba protocol, which allows not only to unify the application configuration processes, but also to increase the stability and reliability of the network infrastructure. The use of this approach reduces the burden on administrators, optimizes time costs and provides flexibility in managing IT systems. The main conclusions emphasize the prospects of using Alt Domain in organizations with hybrid infrastructure. In the future, it is planned to expand the study to include an analysis of system scalability, compatibility with new versions of Windows, as well as the introduction of additional applications and automation tools. The results of the work are valuable for organizations seeking effective integration and automation of management of mixed IT infrastructures.

Keywords: mixed IT environments, Yandex Telemost, Samba, Alt Linux, Windows, automation, GPO, group policies, Yandex Browser, Alt Domain

References (transliterated)

1. Uimin, A. G. Demonstratsionnyi ekzamen bazovogo urovnya. Setevoe i sistemnoe administrirovanie : Praktikum. Uchebnoe posobie dlya vuzov / A. G. Uimin. – Sankt-Peterburg : Izdatel'stvo "Lan", 2024. – 116 s. – (Vysshee obrazovanie). – ISBN 978-5-507-48647-2. – EDN BZJRIQ.
2. BaseALT. Integratsiya gruppovykh politik v Alt Linux. – 2023. – [Elektronnyi resurs]. URL: <https://basealt.ru> (data obrashcheniya: 03.01.2025).
3. Microsoft Corporation. Dokumentatsiya po gruppovoi politike GPO. – 2020. – [Elektronnyi resurs]. URL: <https://docs.microsoft.com> (data obrashcheniya: 03.01.2025).
4. Samba. Ofitsial'naya dokumentatsiya. – [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.samba.org> (data obrashcheniya: 04.01.2025).
5. Alt Linux. Rukovodstvo pol'zovatelya Alt Domen. – [Elektronnyi resurs]. URL: <https://altlinux.org> (data obrashcheniya: 04.01.2025).
6. Gruber, Dzh. P., & Keller, M. Razvertyvanie Windows: metody i praktika. // International Journal of IT Solutions, 2021. – T. 10, №4. – S. 121-130.
7. Smit, A. B., & Chzhao, L. Issledovanie kross-platformennykh gruppovykh politik: tematicheskoe issledovanie // Journal of System Administration, 2019. – T. 35, № 2. – S. 45-52.
8. Dzhonson, K. R., & Miller, D. L. Rol' Samba v smeshannykh IT-sredakh // Network Engineering Review, 2022. – T. 14, № 1. – S. 78-85.
9. Chzhao, L., & Nguen, T. K. Innovatsii v upravlenii GPO dlya gibridnykh sistem // TechSystems Journal, 2020. – T. 23, № 3. – S. 101-110.
10. Alt Linux. Rasshirennye funktsii upravleniya domenami Alt. – 2021. – [Elektronnyi resurs]. URL: <https://altlinux.org/features> (data obrashcheniya: 04.01.2025).
11. Yandeks. Vnedrenie prilozhenii Yandeks v korporativnye IT-sistemy. – 2023. – [Elektronnyi resurs]. URL: <https://yandex.com/solutions> (data obrashcheniya: 04.01.2025).
12. Li, M., & Braun, T. Avtomatizirovannoe razvertyvanie programmnoho obespecheniya s Alt Linux // Journal of Open Source Solutions, 2022. – T. 17, № 5. – S. 215-224.
13. Peterson, K. U., & Karter, Dzh. T. Problemy sovmestimosti Alt Linux i Windows // Linux Journal, 2020. – T. 15, № 3. – S. 123-130.

14. Samba Project. Integratsiya Samba dlya kross-platformennykh IT-reshenii. – 2022. – [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.samba.org/crossplatform> (data obrashcheniya: 04.01.2025).
15. Yandex. Yandex Telemost: Rukovodstvo po razvertyvaniyu dlya korporativnykh pol'zovatelei. – 2024. – [Elektronnyi resurs]. URL: <https://yandex.com/telemost> (data obrashcheniya: 04.01.2025).
16. Grin, Kh., & Blek, P. Optimizatsiya IT-infrastruktury s gibridnymi gruppovymi politikami // International Journal of Systems and Policies, 2021. – T. 19, № 2. – S. 87-94.
17. BaseALT. Poslednie razrabotki v upravlenii domenami Alt Linux. – 2022. – [Elektronnyi resurs]. URL: <https://basealt.ru/news> (data obrashcheniya: 03.01.2025).
18. Microsoft Corporation. Rasshirennye funktsii gruppovoi politiki v Active Directory. – 2021. – [Elektronnyi resurs]. URL: <https://docs.microsoft.com/advancedgpo> (data obrashcheniya: 03.01.2025).
19. Chzhao, L., & Nguen, T. K. Gruppovye politiki dlya smeshannykh sred: problemy i resheniya // TechSystems Journal, 2023. – T. 25, № 2. – S. 34-42.
20. Linux Foundation. Budushchie tendentsii v upravlenii domenami s otkrytym iskhodnym kodom. – 2023. – [Elektronnyi resurs]. URL: <https://linuxfoundation.org> (data obrashcheniya: 04.01.2025)

Methodological Concept for Organizing an Information System of Public and Professional Expertise in the Field of Ecology and Environmental improvement

Zotov Vitaliy Vladimirovich 

Professor; Educational and Scientific Center for Humanities and Social Sciences; Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University)

9 Institutsky Lane, Dolgoprudny, Moscow region, 141701, Russia

✉ om_zotova@mail.ru

Zotov Mihail Vital'evich 

Bachelor's degree; Institute of Information technologies and computer science; National Research University «MPEI»

111250, Russia, Moscow, Krasnokazarmennaya St., 14

✉ mv_zotov2@mail.ru

Aleksiadis Nikos Filippovich

PhD in Physics and Mathematics

Associate Professor; Department of Applied Mathematics and Artificial Intelligence; National Research University «MPEI»

14 Krasnokazarmennaya str., Moscow, 111250, Russia

✉ alexiadisnf@mpei.ru



Yushin Vasilii Valer'evich

PhD in Technical Science

Head of the Department; Department of Labor Protection and the Environment; Southwestern State University

Chelyuskintsev St., 19, Kursk, Kursk region, 305004, Russia,

✉ ushinw@mail.ru



Abstract. Today, there is a gap between the requirement of independent and objective analysis of decisions by public authorities and the mechanism for involving stakeholders in this process. The key tool for achieving this reasonableness is public and professional expertise. The object of the study was a system for organizing public and professional expertise of management decisions in the fields of ecology and urban environment improvement using digital platforms. The goal of the work is to create a concept for designing an information system that provides effective organization of public and professional expertise. Such a system should allow the stakeholders to participate collectively in assessing the public importance of environmental and landscaping issues, contributing to management decisions through comprehensive discussion. This paper presents an integrated methodology of reconciliation of estimates in the information system of social-professional expertise, based on the synthesis of fuzzy logic, graph theory and Delphi method. Within the framework of development of information system of social-professional expertise in the field of ecology and improvement, conceptual models of functioning were created: 1) subsystems for selection and ranking of stakeholder representatives based on processing self-assessments through fuzzy logic; 2) subsystems for configuration of a relevant network from a pool of stakeholder representatives based on the root tree of graph theory; 3) subsystem of expert evaluation of problems of public importance based on the Delphi method. Scientific novelty is defined by the complex use of mathematical and organizational methods, which allows to overcome uncertainty and subjectivity of self-assessments of experts, to structure information flows in pools of experts and to ensure consistency of decisions. The developed information system increases the quality and legitimacy of management decisions on issues of public importance.

Keywords: branch tree, graph theory, topology structure, information expert system, harmonization of expert assessments, roster of experts, expert communities, Delphi method, fuzzy logic, public and professional expertise

References (transliterated)

1. Azhmukhamedov I. M. Nechetkaya kognitivnaya model' otsenki kompetentsii spetsialista // Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika. – 2011. – № 2. – S. 186-190. – EDN: NWDQHD.
2. Armashova-Tel'nik G. S. Problematika prinyatiya upravlencheskikh reshenii v usloviyakh tsifrovizatsii ekonomiki Rossii // Innovatsionnaya nauka. – 2020. – № 4. – S. 96-100. – EDN: BVFDAI.
3. Balakhnina A. G. Formirovanie sistemy sotsiologicheskogo issledovaniya otnosheniya obshchestva k problemam ekologii // Sotsiologiya. – 2022. – № 3. – S. 164-172. – EDN: BLUNOG.
4. Bogomolov A. V., Klimov R. S. Avtomatizatsiya obrabotki informatsii pri provedenii kollektivnykh setevykh ekspertiz // Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii. – 2017. – T. 71, № 11. – S. 509-512. – EDN: ZVEQMB.
5. Brit A. A., Kalitina V. V., Kovalev I. V. Informatsionnye tekhnologii podderzhki kompleksnoi otsenki ekspertnykh reshenii // Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii. – 2024. – № 2(96). – S. 34-37. – EDN: XPSUKO.
6. Eliseeva N. A., Ptuskin A. S., Mazin A. V. Razrabotka metodiki polucheniya kollektivnoi ekspertnoi otsenki pri formirovanii faktorov na etape strategicheskogo analiza // Voprosy radioelektroniki. – 2017. – № 11. – S. 94-98. – EDN: XAKCMY.
7. Erofeeva V. V., Kraeva V. N. Problemy realizatsii mekhanizmov obshchestvennoi

- ekologicheskoi ekspertizy // Nauchno-metodicheskii elektronnyi zhurnal "Kontsept". – 2015. – Т. 13. – С. 2046–2050. – EDN: RWMOUV.
8. Zotov V. V. Obshchestvenno-professional'naya ekspertiza upravlencheskikh reshenii po sotsial'no znachimym problemam goroda kak instrument dostizheniya konsolidatsii // NOMOTHETIKA: Filosofiya. Sotsiologiya. Pravo. – 2022. – № 47(4). – С. 682-690. – DOI: 10.52575/2712-746X-2022-47-4-682-690. – EDN: RLLEXH.
 9. Zotov V. V. Obshchestvenno-professional'naya ekspertiza upravlencheskikh reshenii po obshchestvenno znachimym problemam goroda // Nauchnyi rezul'tat. Sotsiologiya i upravlenie. – 2023. – Т. 9, № 1. – С. 113-125. – EDN: AWREPJ. – DOI: 10.18413/2408-9338-2023-9-1-0-10.
 10. Ilieva S. B. Bazovye protsessy i krugovoe protekanie metoda Del'fi // Nauchnye trudy Severo-Zapadnogo instituta upravleniya RANKhiGS. – 2014. – Т. 5, № 1(13). – С. 141-148. – EDN: ULSPFF.
 11. Kuznetsov V. O., Panova N. F. Opredelenie soglasovannosti ekspertnykh otsenok na osnove analiza indeksov nechetskosti // Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya. – 2024. – № 109-14. – С. 66-69. – EDN: HJRDWY. – DOI: 10.18411/trnio-05-2024-727.
 12. Malaeva E. D., Yakh'yaeva G. E. Programmnaya sistema vizualizatsii i proverki soglasovannosti otsenochnykh znaniy ekspertov // Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Informatsionnye tekhnologii. – 2023. – Т. 21, № 1. – С. 32-45. – EDN: VCHDIM. – DOI: 10.25205/1818-7900-2023-21-1-32-45.
 13. Mel'nik P. B. Metodika formirovaniya ekspertnykh pulov i grupp dlya provedeniya ekspertno-analiticheskikh issledovaniy // Innovatika i ekspertiza: nauchnye trudy. – 2017. – № 1(19). – С. 39-54. – EDN: YUHGIT.
 14. Odinetz V. P. K istorii dvukh znamenitykh optimizatsionnykh algoritmov v teorii grafov // Matematika v vysshem obrazovanii. – 2013. – № 11. – С. 121-128. – EDN: FOGVHY.
 15. Prelikova E. A. Rezul'taty ekspertnogo oprosa po blagoustroistvu gorodskoi sredy (na primere g. Kurska). Blok "Obshchestvennye prostranstva i sotsial'nye svyazi" // Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya. – 2023. – № 6 (462). – С. 53-58. – EDN: CYXAAZ. – DOI: 10.7868/S0233361923060083.
 16. Prognoznoe sotsial'noe proektirovanie: metodologicheskie i metodicheskie problemy / Borovik E. N., Bibler V. S., Gaaze-Rapoport M. G. i dr.; Otv. red. T. M. Dridze. – М.: Nauka, 1989. – 256 с.
 17. Pronnikova T. Yu. Algoritmy teorii grafov // Innovatsii. Nauka. Obrazovanie. – 2021. – № 36. – С. 1536–1542. – EDN: KBNNPU.
 18. Stonchyute K. E., Gurbo A. A., Puzyrevskaya A. A. Metody ekspertnykh otsenok: Metod Del'fi // Nauchnoe znanie sovremennosti. – 2021. – Т. 53, № 5. – С. 16-19. – EDN: RXSXZX.
 19. Tobin D. S. Setevaya ekspertno-analiticheskaya platforma kak instrumental'noe sredstvo podderzhki prinyatiya reshenii v raspredelennoi srede // Vestnik NGUEU. – 2020. – № 3. – С. 231-240. – EDN: YYAEUN. – DOI: 10.34020/2073-6495-2020-3-231-240.
 20. Shcheglov I. A. Ekspertnye otnosheniya kak platforma filosofii fidbeka v obrazovatel'nom prostranstve // Gumanitarnyi vestnik. – 2022. – № 3. – С. 783. – EDN: FGRDVT. – DOI: 10.18698/2306-8477-2022-3-783.
 21. Carvalho A., Larson K. A Consensual Linear Opinion Pool // IJCAI '13: Proceedings of the 23rd International Joint Conference on Artificial Intelligence. – Beijing, China, 2013. – P. 2518-2524.
 22. McAndrew T., Wattanachit N., Gibson G. C., Reich N. G. Aggregating predictions from

experts: A review of statistical methods, experiments, and applications // Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics. – 2021. – Vol. 13, № 2. – P. e1514. – DOI: 10.1002/WICS.1514. – EDN: KWHDFL.

23. Reynaud A., Markantonis V., Carmona Moreno C., N'Tcha M'Po Y., Sambienou G. W., Adandedji F. M., Afouda A., Agbossou E. K., Mama D. Combining Expert and Stakeholder Knowledge to Define Water Management Priorities in the Mékrou River Basin // Water. – 2015. – Vol. 7, № 12. – P. 7078-7094. – DOI: 10.3390/w7126675.
24. Wang W., Huang Y., Guo S. Design and Implementation of GPU-Based Prim's Algorithm. International Journal of Modern Education and Computer Science. – 2011. – Vol. 3, № 4. – P. 55-62. – DOI: 10.5815/IJMECS.20114.0. – EDN: IEBVDH.

A general algorithm for eliminating critical conditions for solving the problem of controlling a real walking robot based on deep reinforcement learning methods

Kashko Vasily Vasil'evich

Postgraduate student; Department of Automated and Computing Systems; Voronezh State Technical University

84 20th Anniversary of October str., Voronezh, 394006, Russia

✉ vasya.kashko@mail.ru



Oleinikova Svetlana Alexandrovna

Doctor of Technical Science

Professor; Department of Automated and Computing Systems; Voronezh State Technical University

84 20th Anniversary of October str., Voronezh, 394006, Russia

✉ s.a.oleynikova@gmail.com



Abstract. The object of the study is a mobile walking robot with two or more movable articulated limbs. The concept of a "critical condition" is introduced, in which the mechanism balances on the verge of falling (but does not fall) or there is a possibility of damage to mechanical components due to the generation of unacceptable joint angles. The subject of the study is a general algorithm for the elimination of critical conditions, which provides the possibility of training an agent based on a deep reinforcement learning algorithm directly on a real robot, without the risk of damaging its mechanisms and interrupting the process of interaction with the environment to restore a stable state. The purpose of this work is to develop a general algorithm for the elimination of critical conditions in the context of adaptive control of a walking robot based on deep learning algorithms with reinforcement. A comparison was made between the proposed and standard methods of applying deep OP on a real robot. The experiments were conducted on 6,000 episodes, with a dimension of 300 steps each. The following quality metrics were selected for evaluation: the percentage of episodes without an actual fall, the percentage of fully completed episodes, and the maximum episode length. The algorithm is based on the concept of "critical condition" and uses the following principles and methods: the "trial and error" method, the feedback principle, holding the projection of the center of gravity point in the area of the polygon formed by the points of contact of the limbs with the work surface, which ensures the balancing of the structure and allows you to determine the boundary areas in which the robot is still stable. The scientific novelty of the work lies in the proposed approach, which allows an intelligent agent to control a physical

robot "directly", without pre-configuration in a simulation environment with subsequent transfer implementation. The proposed algorithm is not aimed at improving the agent's performance, but is intended to provide greater autonomy in the learning process of the robot, directly in the hardware. The basic idea is to immediately respond to a critical condition in the form of the fastest sequential return to a certain number of steps back along the decision-making trajectory, ensuring that the agent remains in a stable and safe state at all times. The method of proximal policy optimization (PPO) was used as a method of deep reinforcement learning. As a result of the comparative analysis, the proposed algorithm demonstrated a hundredfold increase in the stability of the mechanism.

Keywords: locomotor program, walking robot, critical condition, intelligent agent, algorithm, deep neural networks, reinforcement learning, control system, stabilization, environment

References (transliterated)

1. Sutton, R. S. Obucheniye s podkrepleniem: Vvedeniye. 2-e izd. : Per. s angl. / R. Sutton, E. Barto. – Moskva : DMK Press, 2020. – 552 s. : il. – ISBN 978-5-97060-097-9.
2. Morales, Migel'. Grokaem glubokoe obucheniye s podkrepleniem : uchebnoye posobie / M. Morales. – Sankt-Peterburg : Piter, 2023. – 464 s. : il. – (Seriya "Biblioteka programmista"). – ISBN 978-5-4461-3944-6.
3. Uinder, F. Obucheniye s podkrepleniem dlya real'nykh zadach / per. s angl. – SPb.: BKhV-Peterburg, 2023. – 400 s. : il. – ISBN 978-5-9775-6885-2.
4. Rishal Kharbans. Grokaem algoritmy iskusstvennogo intellekta. – SPb.: Piter, 2023. – 368 s.: il. – (Seriya "Biblioteka programmista"). – ISBN 978-5-4461-2924-9.
5. Kashko, V. V. Primeneniye metodov obucheniya s podkrepleniem dlya realizatsii dvizheniya shagayushchikh robotov / V. V. Kashko, S. A. Oleinikova // Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii. Teoriya i praktika. – 2024. – S. 256-262. – EDN: GRDVBI.
6. Kashko, V. V. Analiz metodov obucheniya s podkrepleniem dlya upravleniya robotizirovannymi sistemami / V. V. Kashko, S. A. Oleinikova // Innovatsionnyye tekhnologii: teoriya, instrumenty, praktika. – 2024. – T. 1. – S. 133-140. – EDN: LTXEUX.
7. Yurevich, E. I. Osnovy robototekhniki – 4-e izd., pererab. i dop.: uchebnoye posobie / E. Yurevich. – SPb.: BKhV-Peterburg, 2017. – 304 s.: il. – (Uchebnaya literatura dlya vuzov). – ISBN 978-5-9775-3851-0.
8. Y. Shao, Y. Jin, X. Liu, W. He, H. Wang, and W. Yang, "Learning free gait transition for quadruped robots via phase-guided controller," IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 7, no. 2, pp. 1230-1237, 2021.
9. X. B. Peng, M. Andrychowicz, W. Zaremba, and P. Abbeel, "Sim-to-real transfer of robotic control with dynamics randomization," in 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2018, pp. 3803-3810.
10. Gangapurwala, S., Mitchell, A., and Hacoutis, I. Guided constrained policy optimization for dynamic quadrupedal robot locomotion. IEEE Robot. Autom. Lett. 5, 3642-3649, 2020. doi: 10.1109/LRA.2020.2979656. – EDN: ZSVETN.
11. Hwangbo, J., Lee, J., Dosovitskiy, A., Bellicoso, D., Tsounis, V., Koltun, V., and Hutter, M. Learning agile and dynamic motor skills for legged robots. Science Robotics. 4, eaau5872, 2019. 10.1126/scirobotics.aau5872.
12. F. Zhang, J. Leitner, M. Milford, and P. Corke, "Modular deep Q networks for sim-to-real transfer of visuo-motor policies," arXiv preprint arXiv:1610.06781, 2016.
13. J. Tobin, R. Fong, A. Ray, J. Schneider, W. Zaremba, and P. Abbeel, "Domain

- randomization for transferring deep neural networks from simulation to the real world," in 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, 2017, pp. 23-30.
14. K. Cobbe, O. Klimov, C. Hesse, T. Kim, and J. Schulman, "Quantifying generalization in reinforcement learning," arXiv preprint arXiv:1812.02341, 2018.
 15. Smith, L., Kew, J., Li, T., Luu, L., Peng, X., Ha, S., Tan, J., and Levine, S. Learning and Adapting Agile Locomotion Skills by Transferring Experience. 2023. 10.48550/arXiv.2304.09834.
 16. L. Han, Q. Zhu, J. Sheng, C. Zhang, T. Li, Y. Zhang, H. Zhang, Y. Liu, C. Zhou, R. Zhao et al., "Lifelike agility and play on quadrupedal robots using reinforcement learning and generative pretrained models," arXiv preprint arXiv:2308.15143, 2023.
 17. Kashko, V. V. Matematicheskaya model' universal'noi sistemy upravleniya shagayushchim robotom na osnove metodov obucheniya s podkrepleniem / V. V. Kashko, S. A. Oleinikova // Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii. – 2024. – T. 12. – № 1(44). – S. 12. – DOI: 10.26102/2310-6018/2024.44.1.025. – EDN: HBSQBB.
 18. Kashko, V. V. Formalization of the task of controlling the movement of a walking robot / V. V. Kashko, S. A. Oleinikova // Anthropocentric sciences in education: challenges, transformations, resources. – 2024. – P. 342-345. – EDN: ASVCIB.
 19. Kashko, V. V. Formalizatsiya zadachi upravleniya shagayushchim robotom na osnove algoritmov obucheniya s podkrepleniem / V. V. Kashko, S. A. Oleinikova // Intellektual'nye informatsionnye sistemy. Trudy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Voronezh. – 2025. – S. 243-247.
 20. Kashko, V. V. Obobshchennyi algoritm resheniya zadachi upravleniya shagayushchim robotom na baze intellektual'nogo agenta s ispol'zovaniem metodov glubokogo obucheniya s podkrepleniem / V. V. Kashko, S. A. Oleinikova // Nauchnaya opora Voronezhskoi oblasti. Sbornik trudov pobeditelei konkursa nauchno-issledovatel'skikh rabot studentov i aspirantov VGTU po prioritetnym napravleniyam razvitiya nauki i tekhnologii. Voronezh. – 2025. – S. 155-158. – EDN: OOTOMR.
 21. Pestell, N., Griffith, T., Lepora, N. F. Artificial SA-I and RA-I afferents for tactile sensing of ridges and gratings. J. R. Soc. Interface. 19: 20210822, 2022. <https://doi.org/10.1098/rsif.2021.0822>. – EDN: QHNGNT.
 22. Yurevich, E. I. Sensornye sistemy v robototekhnike : ucheb. posobie / E. I. Yurevich. – SPb. : Izd-vo Politekhn. un-ta, 2013. – 100 s.
 23. Lecture 5: Sovmestnoe razvitie sensoriki i robototekhniki. [Elektronnyi resurs]: izdanie ofitsial'noe. Moskva : Internet-Universitet Informatsionnykh Tekhnologii (INTUIT), 2024. URL : <https://intuit.ru/en/studies/courses/22789/1324/lecture/33070?page=5> – Data publikatsii: 07.10.2024.
 24. Samoilova, A. S. Sistema upravleniya shagayushchim robotom, adaptivnym k izmeneniyu kinematicheskoi skhemy / A. S. Samoilova, S. A. Vorotnikov // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. – Moskva : Novye tekhnologii, 2021. – T. 22 : Roboty, mekhatronika i robototekhnicheskie sistemy – № 11. – S. 601-609. – DOI: 10.17587/mau.22.601-609. – EDN: RHGNTJ.
 25. Sivolobov, S. V. Matematicheskoe modelirovanie pokhodki cheloveka na osnove pyatizvennoi modeli antropomorfnoogo mekhanizma s ispol'zovaniem metodov optimizatsii / S. V. Sivolobov // Matematicheskaya fizika i komp'yuternoe modelirovanie. – 2024. – T. 27. – № 1. – S. 62-85. – doi:10.15688/mpcm.jvolsu.2024.1.5. – EDN: AUNGZT.

Models and algorithms of nonlinear regression analysis of time series

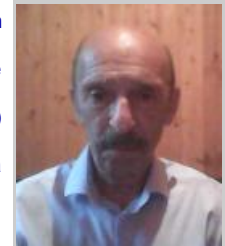
Sklyar Alexander Yakovlevich

PhD in Technical Science

Associate Professor; Department of Applied Mathematics; Russian Technological University (MREA)

78 Vernadsky Street, Moscow, 119602, Russia

✉ askliar@mail.ru



Abstract. The analysis of data describing certain objects and processes is primarily intended to find dependencies within them and to identify the dynamics of their development. The goals of analysis and forecasting are to prepare materials for making informed decisions. This work examines the stages, methods, and algorithms of conducting analysis aimed at obtaining, primarily, functional dependencies that are suitable not only for description but also for predicting the behavior of the studied objects and processes. The analysis itself is viewed as a multi-stage process that includes data preparation, identifying and removing noise from the data as much as possible, finding a long-term trend, identifying oscillatory components, periodicity of fluctuations, assessing the dynamics of amplitude fluctuations, evaluating the accuracy of possible approximations of the process, and the feasibility of forecasting considering the level of data noise. A number of procedures are proposed to ensure a reasoned verification of hypotheses about the course of processes and to obtain analytical, including differential dependencies based on optimization methods for parameter fitting of nonlinear dependencies. The methods discussed allow for conducting a sufficiently objective data analysis and create conditions for building a reasonable forecast. A numerical analysis was conducted based on multi-year statistics of production dynamics. The scientific novelty of the study lies in the development of a methodology for decomposing the process into trend and oscillatory components. Unlike most existing studies of process dynamics analysis, significant attention is given to accounting for and assessing the noise level by determining the limits of accuracy of the obtained results and, moreover, forecasts, which helps avoid unfounded conclusions and decisions and the construction of "overly" precise results based on insufficiently precise initial data, taking into account the requirements of function smoothness at the existing noise level. The use of limited growth functions and the identification of trend shift points allows for correct qualitative long-term forecasting without unreasonable predictions of a catastrophic course of the studied process. The results obtained allow for an analytical expression of the studied processes, primarily economic ones, which not only enables the approximation of the process behavior but also reveals its physical essence, thus allowing the application of these solutions to a whole class of processes of a similar nature.

Keywords: limited growth, hypothesis testing, nonlinear regression, data approximation, accuracy estimation, long-term trend, noise removal, time series, data analysis, oscillation analysis

References (transliterated)

1. Breiman L., Friedman J., Olshen R.A., Stone C.J. Classification and Regression Trees. New York: Imprint Chapman and Hall/CRC, 2017. – 368 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315139470>. (First published 1984)
2. Dyuran B., Odell P. Klasternyi analiz. M.: Statistika, 1977. – 128 s.

3. Rashid Tarik. Sozdaem neironnuyu set'. M.: Dialektika-Vil'yams, 2023. – 272 s.
4. Moshkov M. Yu. Otsenki glubiny derev'ev reshenii nad konechnymi dvuznachnymi sistemami proverok. // Matematicheskie voprosy kibernetiki. Vyp. 7. M.: Fizmatlit, 1998. S. 161-168. URL: <http://library.keldysh.ru/mvk.asp?id=1998-161>.
5. Savitzky A., Golay M.J.E. Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. Analytical Chemistry. 1964. 36(8). P. 1627-1639.
6. Sklyar A.Ya. Analiz i ustranenie shumovoi komponenty vo vremennykh ryadakh s peremennym shagom // Kibernetika i programmirovaniye. 2019. № 1. S. 51-59. DOI: 10.25136/2644-5522.2019.1.27031 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=27031
7. Sklyar A. Ya. Matematicheskoe modelirovaniye ekonomicheskikh protsessov na osnove printsipa maksimuma poleznosti. M.: RTU MIREA, 2021. – 180 s.
8. Kuz'min V.I., Samokhin A.B., Gadzaov A.F., Cherdyn'tsev V.V. Modeli i metody opredeleniya parametrov nelineynykh protsessov. M.: Moskovskii tekhnologicheskii universitet (MIREA), 2016. – 148 s.
9. Johnson M. Correlations of cycles in weather, solar activity, geomagnetic values and planetary configurations. San Francisco: Phillips and Van Orden, 1944. – 122 p.
10. Kuz'min V.I., Samokhin A.B. Pochti periodicheskie funktsii s trendom. Vestnik MGTU MIREA. 2015. № 4(9). T. 2. S. 105-107. EDN: VHIYPJ

Informetric method for determining the effective drop point of humanitarian cargo from UAVs under limited computational resources.

Konnikov Evgenii Aleksandrovich 

PhD in Economics

Associate Professor; Higher School of Engineering and Economics; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

195251, Russia, St. Petersburg, Kalininsky district, Politechnicheskaya str., 29

✉ konnikov_ea@spbstu.ru

Polyakov Prohor Aleksandrovich 

Graduate student; Institute of Industrial Management, Economics and Trade; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

194295, Russia, St. Petersburg, Vyborgsky district, 33 Prosveshcheniya ave., room 2

✉ prohor@polyakov-box.ru

Starchenkova Olesya Dmitrievna 

Assistant Professor; Institute of Industrial Management, Economics and Trade; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

195273, Russia, St. Petersburg, Krasnogvardeysky district, Murinskaya doroga, 8 K. 1

✉ starchenkova.od@edu.spbstu.ru

Sergeev Dmitrii Anatol'evich 

PhD in Economics

Associate Professor; Institute of Industrial Management, Economics and Trade; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

194021, Russia, St. Petersburg, Vyborg district, Novorossiysk St., 50

Abstract. The subject of the research is the calculation of high-precision drop points for humanitarian cargo from unmanned aerial vehicles (UAVs) in challenging atmospheric conditions and under strict limitations on onboard computational resources. The object of the study is the airdrop process, which includes ballistic, aerodynamic, and informational factors that determine the final trajectory of the container. The author examines in detail aspects such as the integration of differential-geometric modeling of the atmosphere based on the Ricci flow, quantum-inspired global optimization of the drop point, and lightweight neural network-based real-time trajectory correction using the ESP32 microcontroller. Special attention is given to the distribution of computational load between the Raspberry Pi 5 single-board computer, which performs resource-intensive calculations, and the energy-efficient controller responsible for online corrections. Thus, the research aims to establish a unified infometric approach that minimizes the uncertainty of the landing coordinate and ensures a metric level of delivery accuracy for cargo. The research methodology is based on the combination of the Ricci flow for adaptive atmospheric modeling, quantum-inspired particle swarm optimization for CARP search, and TinyML corrections of the cargo trajectory on the ESP32 during descent. The main findings of the study include the confirmed feasibility of metrically accurate airdrop without heavy navigation systems and the demonstration of the effectiveness of the proposed infometric concept QRNA. The author's special contribution to the research is the development of a hybrid algorithm that combines methods of differential geometry, quantum-inspired optimization, and lightweight neural network training, as well as its practical implementation on accessible single-board devices. The novelty of the study lies in the integration of the Ricci flow for dynamic distortion of the metric model of the atmosphere directly in the drop point calculation task and the application of quantum swarm searching in the CARP coordinate space. Additional novelty is manifested in the use of a TinyML network for online trajectory correction of the cargo, which has not been previously applied in the context of humanitarian UAVs. The modeling results demonstrate a reduction in the root mean square error of landing to 0.15 m, which is an order of magnitude better than advanced ML approaches and two orders of magnitude more accurate than classical ballistic methods, confirming the high practical value of the developed algorithm.

Keywords: Limited computing resources, Neural network control, Quantum Roe optimization, Ricci's flow, Infometric algorithm, High-precision drop, Aerodrop, Cargo drop point, Unmanned Aerial Vehicles, Humanitarian logistics

References (transliterated)

1. Lazarev V.S., Lashchev A.A. Razrabotka matematicheskoi modeli BPLA na baze kvadrokoptera s ramoi DJI F-450 // Inzhenernyi vestnik Dona. 2018. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/5001.
2. Khtet Soe Paing, E Tet Linn, Khan M'yu Khtun. Modelirovanie nechetko-logicheskogo upravleniya kvadrokopterom // Inzhenernyi vestnik Dona. 2020. № 7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N7y2020/6533.
3. Kavelin A.S., Tyutina A.D., Nuriev V.E. Ispol'zovanie kvadrokoptero dlya obsledovaniya ob"ektov // Inzhenernyi vestnik Dona. 2019. № 7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N7y2019/6108. EDN: NHELQF.
4. Kholkin A.V., Medvedev M.V. Opredelenie zigzagobraznosti traektorii dvizheniya transportnykh sredstv // Inzhenernyi vestnik Dona. 2024. № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2024/9689. EDN: KTSHZK.

5. Sergeev D.A., Rodionov D.G., Polyakov P.A., Golikov G.I., Starchenkova O.D., Dmitriev N.D., Konnikov E.A. Intel'ktual'naya sistema monitoringa i adaptatsii marshruta bespilotnykh letatel'nykh apparatov na osnove neirosetevogo analiza ob'ektov riska // Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody. 2025. № 1. S. 55-70. DOI: 10.7256/2454-0714.2025.1.73255 EDN: UZVYID URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=73255
6. Rodionov D.G., Sergeev D.A., Konnikov E.A., Popova S.D. Metod analiza aerofotosnimkov s BPLA na osnove SSIM i MSE dlya otsenki nadezhnosti tekhnicheskikh sistem // Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody. 2025. № 2. S. 217-230. DOI: 10.7256/2454-0714.2025.2.73765 EDN: BSPENZ URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=73765
7. Makhmudov F., Privalov A., Egorenkov S., Pryadkin A., Kutlimuratov A., Bekbaev G., Cho Y.I. Analytical Approach to UAV Cargo Delivery Processes Under Malicious Interference Conditions // Mathematics. 2025. Vol. 13. No. 12.
8. Wang X., Yin J., Li J., Li Y. A Multidimensional Parameter Dynamic Evolution-Based Airdrop Target Prediction Method Driven by Multiple Models // Remote Sensing. 2025. Vol. 17. No. 14.
9. Majeed A., Hwang S.O. Path Planning Method for UAVs Based on Constrained Polygonal Space and an Extremely Sparse Waypoint Graph // Applied Sciences. 2021. Vol. 11. No. 12.
10. Shen Y., Zhu Y., Kang H., Sun X., Chen Q., Wang D. UAV Path Planning Based on Multi-Stage Constraint Optimization // Drones. 2021. Vol. 5. No. 4.
11. Varlamov O. O. Ob odnom podkhode k metrike avtonomnosti i intellektual'nosti robototekhnicheskikh kompleksov // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2017. № 6-2. S. 43-53. EDN: YWNDPI.
12. Koptev V. A. Analiz BPLA kak aktual'nykh radiolokatsionnykh tselei i ikh maskiruyushchikh faktorov // Mezhdunarodnyi zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk. 2024. № 6-1. S. 244-250. DOI: 10.24412/2500-1000-2024-6-1-244-250. EDN: IIBCXX.
13. Varlamov O. O., Lazarev V. M., Chuvikov D. A., Dzhkha P. O perspektivakh sozdaniya avtonomnykh intellektual'nykh robotov na osnove mivarnykh tekhnologii // Radiopromyshlennost'. 2016. № 4. S. 96-105. EDN: UQEVLG.
14. V Rossii razrabotali novye mnogofunktsional'nye drony "Kasatka" i "Mikrob" [Elektronnyi resurs]. URL: <https://aif.ru/society/army/v-rossii-razrabotali-novyemnogofunktsionalnye-drony-kasatka-i-mikrob> (data obrashcheniya: 26.01.2025).
15. Vyrelkin A. D., Kucheryavyy A. E. Ispol'zovanie bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya resheniya zadach "umnogo goroda" // Informatsionnye tekhnologii i telekommunikatsii. 2017. № 1. S. 105-113. EDN: YPQDMT.
16. Terent'ev V. B. Metod svertki veroyatnostnykh i parametricheskikh pokazatelei letatel'nogo apparata // Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya: aktual'nye voprosy. 2019. S. 51. EDN: REXVQB.
17. Sorokin I. A., Romanov P. N., Chesnokov A. D., Kondranenkova T. E. Matematicheskaya model' obrabotki izobrazhenii opasnykh i vredonosnykh rastenii s kamery BPLA // Vestnik NGIEI. 2023. № 5. S. 20-32. DOI: 10.24412/2227-9407-2023-5-20-32. EDN: HWCSGN.
18. Ali B., Sadekov R. N., Tsodokova V. V. Algoritmy navigatsii bespilotnykh letatel'nykh apparatov s ispol'zovaniem sistem tekhnicheskogo zreniya // Giroskopiya i navigatsiya. 2022. № 4. S. 87-105. DOI: 10.17285/0869-7035.00105. EDN: ETCJST.

19. Kostin A. S. Informatsionno-izmeritel'nye sistemy dlya kontrolya vypolneniya traektorii aviatsionnoi sistemy // Volnovaya elektronika i infokommunikatsionnye sistemy: materialy XXIV Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. Chast' 1. 2021. S. 219-226.
20. Xu Y., Wei Y., Wang D., Jiang K., Deng H. Multi-UAV Path Planning in GPS and Communication Denial Environment // Sensors (Basel). 2023. Vol. 23. No. 6. P. 2997.
21. Vera-Yanez D., Pereira A., Rodrigues N., Molina J.P., García A.S., Fernández-Caballero A. Vision-Based Flying Obstacle Detection for Avoiding Midair Collisions: A Systematic Review // J. Imaging. 2023. Vol. 9. P. 194.

Interpolating and extrapolating memoization in the Planning C language

Pekunov Vladimir Viktorovich 

Doctor of Technical Science

Software Engineer, JSC "Informatika"

✉ pekunov@mail.ru

Abstract. This paper discusses the possibilities of increasing the speed of execution of programs that implement mainly mathematical algorithms using some special types of memoization. A brief overview of the existing basic approaches to memoization is carried out, and a conclusion is made about the lack of knowledge of the possibilities of explicit program memoization based on one or another method of approximating the results missing in the memoization cache. The possibilities of such memoization are analyzed, the syntax and semantics of possible program constructions are described, indicating the need for its inclusion for functions/procedures (void functions). The proposed variants of memoization are tested, it is shown that for some mathematical algorithms, a significant acceleration of work is possible with a fairly low error. The novelty of this study lies in the fact that for the first time the syntax, semantics and basic mechanisms for implementing explicit program memoization based on interpolation (by neural networks of direct propagation or by the method of group accounting of arguments) or linear extrapolation are proposed and described. This memoization is introduced into the Planning C language. The conditions of justification of memoization are formulated. For the proposed variant of memoization, the concept of a grouping parameter is introduced, which allows using sets of interpolators for various combinations of input arguments of a memoized procedure/function in order to reduce additional time spent on training the interpolator and increase the likelihood of its results. The concept of an ordinal parameter used to establish the order of key points of extrapolating memoization is also introduced. The adequacy of the proposed approaches and memoization algorithms is shown by a number of examples from the field of numerical modeling.

Keywords: programming language, neural network, parallel computing, approbation, extrapolator, syntactic constructions, interpolator, prediction, memoization, MGUA

References (transliterated)

1. Gorodnyaya L.V. Paradigmy programmirovaniya. Chast' 4. Parallel'noe programmirovaniye //Novosibirsk. Preprint ISI SO RAN. – URL: http://www.iis.nsk.su/files/preprints/gorodnyaya_175.pdf (data obrashcheniya: 05.11.2021).
2. Mayfield, James, Timothy W. Finin and M. R. Hall. Using automatic memoization as a

- software engineering tool in real-world AI systems // Proceedings the 11th Conference on Artificial Intelligence for Applications (1995): pp.87-93.
3. Perl 5.34.0 Documentation. URL: <https://perldoc.perl.org/Memoize> (data obrashcheniya: 05.11.2021)
 4. Arjun Suresh, Bharath Narasimha Swamy, Erven Rohou, and Andre Seznec. Intercepting functions for memoization: A case study using transcendental functions // ACM Trans. Architec. Code Optim. 12, 2, Article 18 (June 2015), 23 pages. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2751559>
 5. Y. Kamiya, T. Tsumura, H. Matsuo and Y. Nakashima. A Speculative Technique for Auto-Memoization Processor with Multithreading // Proc. International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies, 2009, pp. 160-166, DOI: 10.1109/PDCAT.2009.67.
 6. G. Zhang and D. Sanchez. Leveraging Hardware Caches for Memoization // IEEE Computer Architecture Letters, vol. 17, no. 1, pp. 59-63, 1 Jan.-June 2018, DOI: 10.1109/LCA.2017.2762308.
 7. M. H. Lipasti and J. P. Shen. Exceeding the dataflow limit via value prediction // Proceedings of the 29th Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture. MICRO 29, 1996, pp. 226-237, doi: 10.1109/MICRO.1996.566464.
 8. B. Calder, G. Reinman and D. M. Tullsen. Selective value prediction // Proceedings of the 26th International Symposium on Computer Architecture (Cat. No.99CB36367), 1999, pp. 64-74, doi: 10.1109/ISCA.1999.765940.
 9. Yiannakis Sazeides and James E. Smith. The predictability of data values // In Proceedings of the 30th annual ACM/IEEE international symposium on Microarchitecture (MICRO 30). IEEE Computer Society, USA, 1997, pp. 248-258.
 10. Evers, M., Yeh, T.Y. Understanding branches and designing branch predictors for high performance microprocessors // Proceedings of the IEEE 89, 1610-1620 (2001).
 11. Monchiero M., Palermo G. (2005) The Combined Perceptron Branch Predictor. // In: Cunha J.C., Medeiros P.D. (eds) Euro-Par 2005 Parallel Processing. Euro-Par 2005. Lecture Notes in Computer Science, vol 3648. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI:https://doi.org/10.1007/11549468_56
 12. Salil Pant and Greg Byrd. A case for using value prediction to improve performance of transactional memory // In TRANSACT '09: 4th Workshop on Transactional Computing, feb 2009. URL: http://transact09.cs.washington.edu/35_paper.pdf (data obrashcheniya: 31.08.2020).
 13. Hadi Esmaeilzadeh, Adrian Sampson, Luis Ceze, and Doug Burger. Neural acceleration for generalpurpose approximate programs // In Proceedings of the 2012 45th Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture (MICRO-45). 449-460. DOI:<http://dx.doi.org/10.1109/MICRO.2012.48>.
 14. Pekunov V.V. Yazyk programmirovaniya Planning C. Instrumental'nye sredstva. Novye podkhody k obucheniyu neironnykh setei. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 171 s.
 15. Dyuk, V., Samoilenko, A. Data mining: uchebnyi kurs. SPb: Piter, 2001.
 16. Pekunov, V.V. Novye metody parallel'nogo modelirovaniya rasprostraneniya zagryaznenii v okrestnosti promyshlennyykh i munitsipal'nykh ob'ektov // Dis. dokt. tekhn. nauk. – Ivanovo, 2009. – 274 s.