

СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАТИКИ

**Научный журнал Российской академии наук
(издается под руководством Отделения нанотехнологий
и информационных технологий РАН)**

Издается с 1989 года

Журнал выходит ежеквартально

Учредитель:

**Федеральный исследовательский центр
«Информатика и управление» Российской академии наук**

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

академик РАН И. А. Соколов — председатель Редакционного совета

академик РАН Г. И. Савин

академик РАН А. Л. Стемпковский

член-корреспондент РАН Ю. Б. Зубарев

профессор Ш. Долев (S. Dolev, Beer-Sheva, Israel)

профессор Ю. Кабанов (Yu. Kabanov, Besancon, France)

профессор В. Ротарь (V. Rotar, San-Diego, USA)

профессор М. Финкельштейн (M. Finkelstein, Bloemfontein, South Africa)

профессор В. Хофкирхнер (W. Hofkirchner, Wien, Austria)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

академик РАН И. А. Соколов — главный редактор

профессор, д.ф.-м.н. С. Я. Шоргин — заместитель главного редактора

д.т.н. В. Н. Захаров

проф., д.ф.-м.н. А. И. Зейфман

проф., д.т.н. В. Д. Ильин

проф., д.т.н. К. К. Колин

проф., д.ф.-м.н. В. Ю. Королев

к.ф.-м.н. Р. В. Разумчик

д.ф.-м.н. В. И. Сеницын

проф., д.т.н. И. Н. Сеницын

проф., д.ф.-м.н. В. Г. Ушаков

д.ф.-м.н. А. К. Горшенин — отв. секретарь

к.ф.-м.н. С. А. Христочевский

Редакция

к.ф.-м.н. Е. Н. Арутюнов

к.ф.-м.н. Р. В. Разумчик

С. Н. Стригина

© Федеральный исследовательский центр «Информатика
и управление» Российской академии наук, 2022

Журнал включен в базу данных Russian Science Citation Index (RSCI),
интегрированную с Web of Science

Журнал входит в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Журнал включен в базу данных CrossRef (систему DOI — Digital Object Identifier),
в базу данных Ulrich's periodicals directory

и в информационную систему «Общероссийский математический портал Math-Net.Ru»

Журнал реферируется в «Реферативном журнале» ВИНИТИ
и в системе Google Scholar

Журнал включен в сформированный Минобрнауки России Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

<http://www.ipiran.ru/journal/collected>

СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАТИКИ

Том 32 № 4 Год 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Анализ сбоеустойчивости самосинхронного конвейера И. А. Соколов, Ю. А. Степченков, Ю. Г. Дьяченко, Н. В. Морозов, Д. Ю. Степченков, Д. Ю. Дьяченко	4
Обнаружение дрейфа распределения А. А. Грушо, Н. А. Грушо, М. И. Забежайло, Д. В. Смирнов, Е. Е. Тимонина, С. Я. Шоргин	14
Оценки скорости сходимости и устойчивости для одного класса нестационарных марковских моделей систем с нетерпеливыми клиентами И. А. Ковалёв, Я. А. Сатин, А. И. Зейфман	21
Методы поиска имплицитных логико-семантических отношений в параллельных текстах А. А. Гончаров	32
Аналитика зашумленных текстов М. П. Кривенко	45
Токенизация текстов на основе метода функциональных шаблонов Ю. В. Никитин, А. А. Хорошилов, А. Е. Макарова	59
Метод управления обменом данными в автоматизированных информационных системах с применением смыслового анализа передаваемых элементов информации М. М. Гершкович, Т. К. Бирюкова	69
Теоретические основания компьютерного образования: среды предметной области информатики как основание классификации ее объектов И. М. Зацман	77

СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАТИКИ

Том 32 № 4 Год 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Национальные научно-образовательные сети стран Евразийского экономического союза: текущий статус и перспективы интеграции А. Г. Абрамов, А. А. Гончар, А. В. Евсеев, А. Т. Идрисов, Д. В. Новик, Б. М. Шабанов	90
Некоторые проекты нетипового применения экспертных систем Д. В. Жуков	99
Алгоритмы кластеризации для технологии поддержки конкретно-исторических исследований И. М. Адамович, О. И. Волков	112
Метод целевого перемещения решения в технологиях ситуационного управления А. В. Ильин, В. Д. Ильин	124
Оптимизационный процесс интегрированного метода защиты растений для точечных моделей Р. Н. Одинаев, П. Л. Назруллоев, Ф. Раимзода	134
Оптимизация поиска при решении переборных задач в углубленном курсе информатики на уровне основного общего образования О. М. Корчажкина	145
Об авторах	157
Авторский указатель за 2022 г.	161
2022 Author Index	167
Правила подготовки рукописей статей	173
Requirements for manuscripts	177

АНАЛИЗ СБООУСТОЙЧИВОСТИ САМОСИНХРОННОГО КОНВЕЙЕРА*

*И. А. Соколов¹, Ю. А. Степченко², Ю. Г. Дьяченко³, Н. В. Морозов⁴,
Д. Ю. Степченко⁵, Д. Ю. Дьяченко⁶*

Аннотация: Практические самосинхронные (СС) схемы реализуются в виде конвейера аналогично синхронным схемам. Самосинхронные схемы обладают рядом преимуществ в сравнении с синхронными аналогами, но аппаратно избыточны. Статья анализирует устойчивость СС-конвейера к однократным логическим сбоям (ЛС) с учетом его аппаратной избыточности и в предположении, что ЛС поражает только одну логическую ячейку схемы. За счет своей двухфазной дисциплины работы и обязательной индикации успешного завершения переключения в каждую фазу СС-схемы способны обнаружить ЛС и приостановить функционирование схемы до его исчезновения. Сбоеустойчивый гистерезисный триггер в составе разряда регистра ступени конвейера обеспечивает иммунитет регистра к любому ЛС в комбинационной части ступени конвейера. DICE-подобная реализация этого триггера позволяет в 2,7 раза повысить устойчивость СС-регистра к внутренним ЛС. В целом СС-конвейер оказывается в 2,5–6,8 раза устойчивее к однократным ЛС, чем его синхронный аналог.

Ключевые слова: самосинхронные схемы; конвейер; логический сбой; сбоеустойчивость; индикация; гистерезисный триггер

DOI: 10.14357/08696527220401

1 Введение

Надежность цифровой схемы определяется ее способностью маскировать кратковременные однократные ЛС и парировать отказы во время работы, не допуская искажения результатов обработки информации. Практика показала,

* Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда (проект № 22-19-00237).

¹Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, ISokolov@ipiran.ru

²Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, YStepchenkov@ipiran.ru

³Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, diauga@mail.ru

⁴Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, NMorozov@ipiran.ru

⁵Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, Stepchenkov@mail.ru

⁶Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, diaden87@gmail.com

что отказы в цифровых микросхемах появляются на несколько порядков реже, чем ЛС [1].

В литературе известны многочисленные методы защиты от ЛС: корректирующие коды [2], методы обнаружения и изоляции [3, 4]; в меньшей степени используются технологические методы [5] и др. Все они в той или иной мере предполагают внесение избыточности в схему.

Самосинхронные схемы [6, 7] обладают такой избыточностью изначально. Благодаря двухфазной дисциплине, обязательной индикации успешного завершения переключения в каждую фазу и другим свойствам СС-схемы обладают естественной высокой сбоеустойчивостью [8, 9].

Однако из-за избыточности СС-схем число сбоев в единицу времени, наблюдаемых в СС-схеме, больше, чем в синхронном аналоге [10]. Поэтому задача анализа устойчивости СС-схем к ЛС с учетом их аппаратной избыточности является актуальной.

2 Самосинхронный конвейер

Практические синхронные цифровые схемы проектируются в виде конвейера [11] с глобальным тактовым сигналом. Самосинхронные схемы не имеют глобальной синхронизации. Но для ускорения фазового взаимодействия СС-устройств в составе общей СС-схемы также используется конвейер, показанный на рис. 1. Запись информационных выходов комбинационной части (КЧ) в выходной регистр (ВР), подтвержденная индикатором ВР (ИВР), и окончание всех переключений в КЧ, подтвержденное индикатором КЧ (ИКЧ), являются необходимыми и достаточными условиями для разрешения переключения информационных входов КЧ данной ступени в следующую фазу работы. Это условие формируется гистерезисным (Γ) триггером [6].

Рассмотрим влияние ЛС на работоспособность СС-конвейера.

3 Сбойные ситуации в самосинхронном конвейере

Для упрощения считаем, что появление сбоя в любом месте топологии логической ячейки с вероятностью 0,5 вызывает инверсию логического уровня

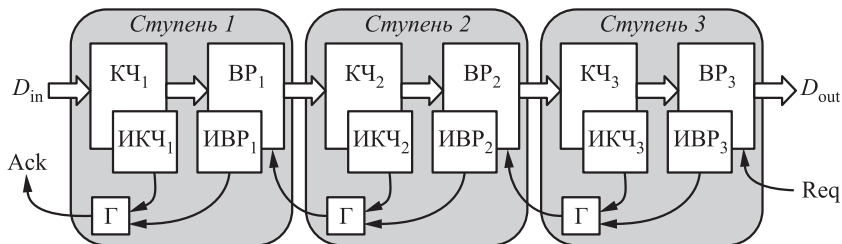


Рис. 1 Структура типового СС-конвейера

сигнала на ее выходе. Но не всякий ЛС приводит к искажению обрабатываемой информации.

Рассмотрим КЧ СС-конвейера с традиционным парафазным кодированием информационных сигналов [6]. Каждый парафазный сигнал имеет только одно спейсерное состояние: нулевое (00) или единичное (11). Инверсное спейсеру состояние (антиспейсер) считается запрещенным, но оно может появиться в результате ЛС. Использование ячейки «неравнозначность» или «равнозначность» для индикации парафазного сигнала обеспечивает распознавание антиспейсера как спейсера [8].

Парафазный сигнал формируется двумя согласованными логическими ячейками. Значит, однократный ЛС приведет к изменению одной компоненты парафазного сигнала и смене его видимой фазы.

Каждую фазу функционирования СС-схемы можно разбить на два периода: активное переключение в текущую фазу и ожидание разрешения переключения в следующую фазу. Будем считать, что каждая ступень СС-конвейера в любой момент времени с вероятностью 0,5 находится либо в активном периоде, либо в ожидании.

Использование сбоеустойчивого Г-триггера (рис. 2) для реализации разряда выходного регистра (рис. 3) уменьшает вероятность записи в разряд регистра сбойного состояния парафазного входа (X, XB). Здесь E — вход управления, разрешающий запись в регистр рабочего состояния ($E = 1$) или спейсера ($E = 0$).

Пусть длительность сбоя превышает суммарную длительность рабочей и спейсерной фаз ступени конвейера. Возможны следующие ситуации появления ЛС в КЧ ступени конвейера.

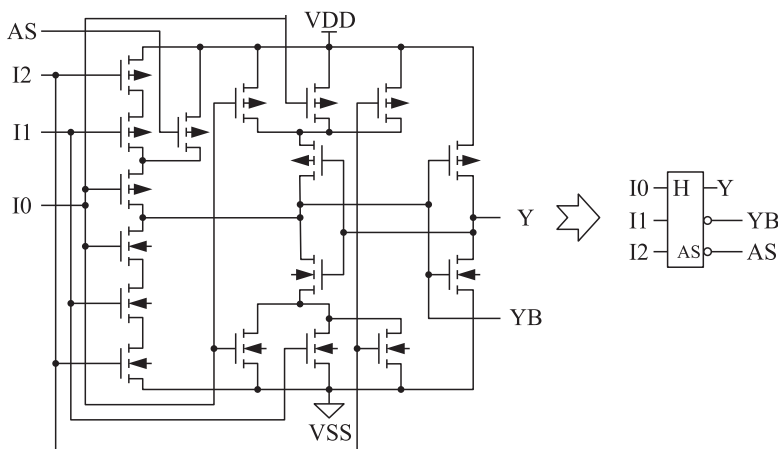


Рис. 2 Схема Г-триггера, устойчивого к сбоям на входе, на КМДП-транзисторах

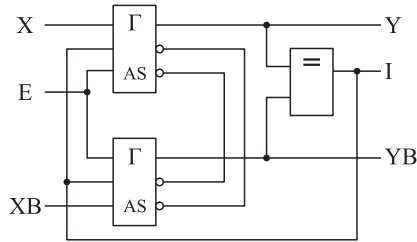


Рис. 3 Схема одного разряда выходного регистра с блокировкой записи во время ожидания

1. Ступень находится в состоянии активного переключения в рабочую фазу, $E = 1$, из-за ЛС рабочее состояние сигнала (X, XB) на входе регистра не успевает записаться в него.
2. Ступень находится в состоянии активного переключения в рабочую фазу, $E = 1$, ЛС входа (X, XB) регистра возникает после того, как рабочее состояние (X, XB) записалось в разряд выходного регистра и индикаторный выход разряда регистра запретил запись в регистр.
3. Ступень находится в состоянии ожидания переключения в рабочую фазу, $E = 0$, ЛС переключает вход (X, XB) регистра из спейсера в рабочее состояние, совпадающее с ожидаемым либо противоположное ему.
4. Ступень находится в состоянии активного переключения в спейсерную фазу, $E = 0$, из-за ЛС входа (X, XB) разряд регистра либо остался в том же рабочем состоянии, либо переключился в антиспейсер.
5. Ступень находится в состоянии активного переключения в спейсерную фазу, $E = 0$, ЛС на входе (X, XB) регистра возникает после записи спейсера в разряд регистра.
6. Ступень находится в состоянии ожидания переключения в спейсерную фазу, $E = 1$, вход (X, XB) регистра из-за ЛС либо преждевременно переходит в спейсер, либо переключается в антиспейсер.

В ситуациях 1, 3, 4 и 6 выход ИВР останется в спейсере и СС-конвейер остановится в ожидании окончания ЛС и восстановления корректного состояния сигнала (X, XB). В ситуациях 2 и 5 выходы регистра не изменятся. Таким образом, разряд регистра, изображенный на рис. 3, маскирует все ЛС своих информационных входов.

Сбой непосредственно в Г-триггерах разряда регистра ступени оказывается более критичным из-за того, что он блокирует запись корректного состояния входа (X, XB) и приводит к «зависанию» конвейера. Использование DICE-подобного Г-триггера [12], схема которого на КМДП-транзисторах изображена на рис. 4, для реализации разрядов регистра ступени СС-конвейера, как показано

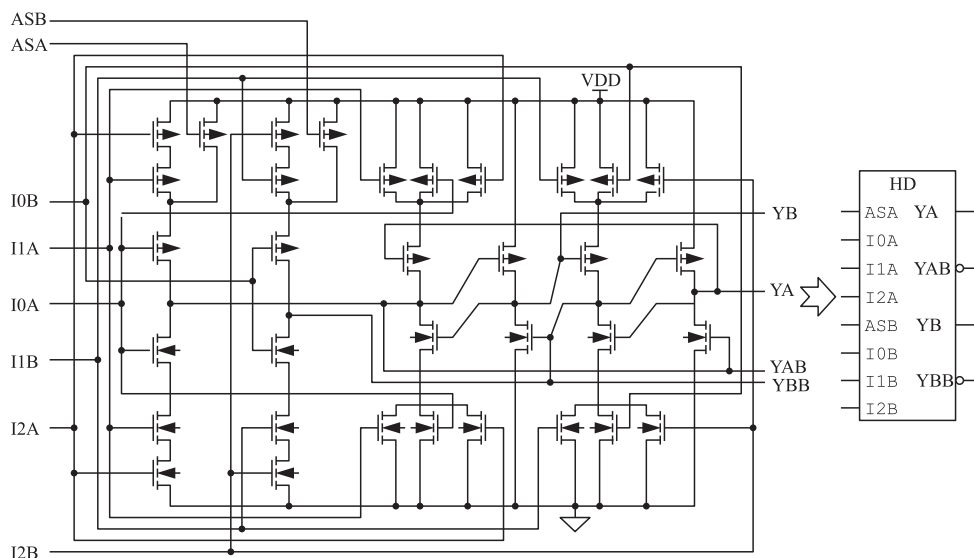


Рис. 4 Схема Г-триггера DICE-типа на КМДП-транзисторах

на рис. 5, кардинально решает указанную проблему. Разряд регистра становится гораздо более устойчивым к ЛС: сложность его чувствительных к сбоям компонентов сокращается в 2,7 раза — с 41 КМДП-транзистора до 15 транзисторов (два четырехтранзисторных конвертера дуальных выходов в одинарные и индикаторный элемент — ячейка равнозначности), уменьшая пропорционально площадь его топологической реализации, чувствительную к ЛС, и интенсивность сбоев в нем.

Логический сбой в индикаторном элементе разряда регистра с вероятностью 0,5 заблокирует запись в разряд регистра состояния, соответствующего текущей фазе. С вероятностью 0,5 следующая ступень конвейера не замаскирует этот сбой, и он вызовет «зависание» СС-конвейера. Следовательно, с вероятностью 0,25 ЛС в индикаторном элементе разряда регистра приведет к остановке СС-конвейера.

Индикаторные подсистемы ИКЧ и ИВР строятся на Г-триггерах [6] в виде пирамидальной схемы. Критическая ситуация возникает только в том случае, если ЛС поражает вершину этой пирамиды. Вероятность этого события равна примерно $2/N$, где N — число индицируемых сигналов.

Суммарная вероятность появления критического сбоя в i -й ступени СС-конвейера зависит от площадей топологии комбинационной части ($S_{CP,i}$), Г-триггера (S_H), ячейки равнозначности (S_{IE}) и подсистем ИКЧ ($S_{CPI,i}$) и ИВР ($S_{ORI,i}$):

$$P_{ST,i} = \frac{0,25n_i(2S_H + S_{IE}) + S_H}{S_{CP,i} + n_iS_{IE} + 0,5(M_i + 5n_i)S_H},$$

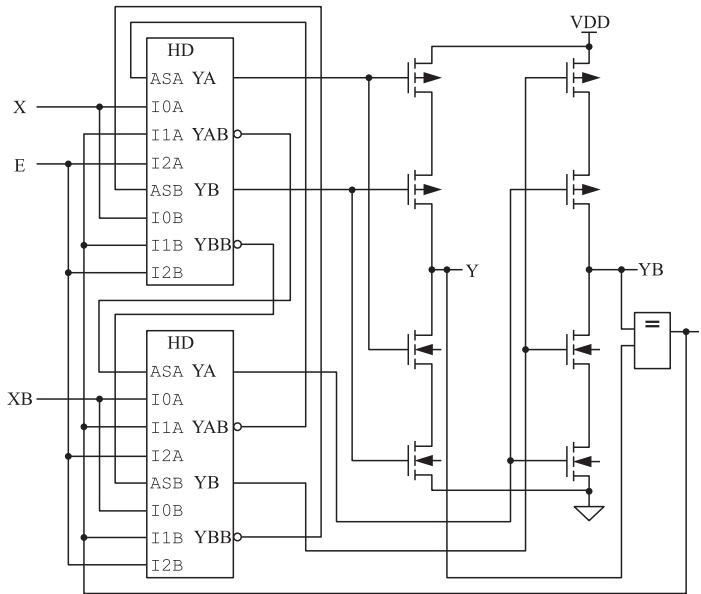


Рис. 5 Схема разряда регистра на Г-триггерах DICE-типа

где n_i — разрядность регистра; M_i — число индицируемых сигналов в комбинационной части. Анализ практических схем СС-конвейеров дает значение $P_{ST,i}$ в диапазоне 0,012–0,036. При использовании в регистре Г-триггера DICE-типа вероятность появления критического сбоя уменьшается до величины 0,004–0,013.

Логический сбой в i -й ступени синхронного конвейера оказывается критическим, в первом приближении, с вероятностью $P_{S,i} = 0,25$. Тогда при постоянной плотности событий, вызывающих сбой, и с учетом аппаратной избыточности СС-конвейера число критических сбоев в единицу времени в нем меньше, чем в синхронном конвейере, в 2,5–6,8 раза в зависимости от схемы разряда СС-регистра. Поэтому, несмотря на аппаратную избыточность СС-конвейера, его использование целесообразно в надежных приложениях.

4 Заключение

Самосинхронные схемы стали многообещающей альтернативой синхронным схемам в области проектирования технических систем, устойчиво работающих в нестабильных и экстремальных условиях эксплуатации: при сверхнизком и изменяющемся напряжении питания, в широком диапазоне температуры.

Двухфазная дисциплина функционирования и обязательное подтверждение успешного завершения переключения в каждую фазу обеспечивают более высо-

кую устойчивость СС-конвейера к кратковременным однократным ЛС в сравнении с синхронным конвейером. В зависимости от сложности ступеней конвейера и схемы реализации разряда СС-регистра СС-вариант оказывается в 2,5–6,8 раза менее чувствительным к ЛС.

Литература

1. Викторова В. С., Лубков Н. В., Степанянц А. С. Анализ надежности отказоустойчивых управляющих вычислительных систем. — М.: ИПУ РАН, 2016. 117 с.
2. Morelos-Zaragoza R. H. The art of error correcting coding. — Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2006, 269 p.
3. LaFrieda C., Manohar R. Fault detection and isolation techniques for quasi delay-insensitive circuits // Conference (International) on Dependable Systems and Networks Proceedings. — IEEE, 2004. P. 41–50. doi: 10.1109/DSN.2004.1311875.
4. Kulikowski K. J., Karpovsky M. G., Taubin A., Wang Z., Kulikowski A. Concurrent fault detection for secure QDI asynchronous circuits // 38th Annual Conference (International) on Dependable Systems and Networks Proceedings. — IEEE/IFIP, 2008. P. 1–6.
5. Lakshmi Varaprasad T., Sivakumar M., Prasad B. K. V., Inthiyaz S. A. Nanoscale CMOS technology for hardened latch with efficient design // Int. J. Electronics Communication Engineering, 2012. Vol. 5. No. 3. P. 343–349.
6. Varshavsky V., Kishinevsky M., Marakhovsky V., et al. Self-timed control of concurrent processes. — Kluwer Academic Publs., 1990. 245 p.
7. Smith S. C., Di J. Designing asynchronous circuits using NULL convention logic (NCL). — Synthesis lectures on digital circuits & systems ser. — Springer, 2009. 96 p. doi: 10.2200/S00202ED1V01Y200907DCS023.
8. Stepchenkov Y. A., Kamenskih A. N., Diachenko Y. G., Rogdestvenski Y. V., Diachenko D. Y. Improvement of the natural self-timed circuit tolerance to short-term soft errors // ASTESJ, 2020. Vol. 5. No. 2. P. 44–56. doi: 10.25046/aj050206.
9. Соколов И. А., Степченко Ю. А., Рождественский Ю. В., Дьяченко Ю. Г. Приближенная оценка эффективности синхронной и самосинхронной методологий в задачах проектирования сбоеустойчивых вычислительно-управляющих систем // Автоматика и телемеханика, 2022. № 2. С. 122–132.
10. Dubrova E. Fault-tolerant design. — New York, NY, USA: Springer, 2013. 200 p. doi: 10.1007/978-1-4614-2113-9.
11. Hennessy J. L., Patterson D. A. Computer architecture: A quantitative approach. — 6th ed. — Morgan Kaufmann, 2017. 936 p.
12. Danilov I. A., Gorbunov M. S., Shnaider A. I., Balbekov A. O., Rogatkin Y. B., Bobkov S. G. DICE-based Muller C-elements for soft error tolerant asynchronous ICs // 16th European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems Proceedings. — IEEE, 2016. Art. No. F4. 4 p. doi: 10.1109/RADECS.2016.8093145.

Поступила в редакцию 20.06.22

SELF-TIMED PIPELINE'S SOFT ERROR TOLERANCE ANALYSIS

*I. A. Sokolov, Yu. A. Stepchenkov, Yu. G. Diachenko, N. V. Morozov,
D. Yu. Stepchenkov, and D. Yu. Diachenko*

Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation

Abstract: Practical self-timed (ST) circuits are implemented as a pipeline, similar to synchronous circuits. Self-timed circuits have a number of advantages in comparison with synchronous counterparts but are redundant in hardware. The article analyzes the tolerance of the ST pipeline to single soft errors, taking into account its hardware redundancy and assuming that each soft error affects only one circuit's logical cell. Due to their two-phase work discipline and the mandatory indication of the successful completion of the switching in each phase, the ST circuits can detect a soft error and suspend the operation of the circuit until it disappears. A failure-tolerant hysteretic latch as a part of the pipeline stage register bit ensures that the register is immune to any soft error in the pipeline stage's combinational part. The DICE-like implementation of this latch increases the ST register tolerance to internal soft errors by a factor of 2.7. In general, the ST pipeline is 2.5–6.8 times more immune to single soft errors than its synchronous counterpart.

Keywords: self-timed circuits; pipeline; soft error; failure tolerance; indication; hysteretic trigger

DOI: 10.14357/08696527220401

Acknowledgments

The research was supported by the Russian Science Foundation (project No. 22-19-00237).

References

1. Viktorova, V. S., N. V. Lubkov, and A. S. Stepanyants. 2016. *Analiz nadezhnosti otkazoustoychivyykh upravlyayushchikh vychislitel'nykh sistem* [Analysis of fault-tolerant computing systems' reliability]. Moscow: IPU RAN. 117 p.
2. Morelos-Zaragoza, R. H. 2006. *The art of error correcting coding*. Hoboken, NJ: Wiley. 269 p.
3. LaFrieda, C., and R. Manohar. 2004. Fault detection and isolation techniques for quasi delay-insensitive circuits. *Conference (International) on Dependable Systems and Networks Proceedings*. IEEE. 41–50. doi: 10.1109/DSN.2004.1311875.

4. Kulikowski, K. J., M. G. Karpovsky, A. Taubin, Z. Wang, and A. Kulikowski. 2008. Concurrent fault detection for secure QDI asynchronous circuits. *38th Annual Conference (International) on Dependable Systems and Networks Proceedings*. IEEE/IFIP. 1–6.
5. Lakshmivaraprasad, T., M. Sivakumar, B. K. V. Prasad, and S. A. Inthiyaz. 2012. Nanoscale CMOS technology for hardened latch with efficient design. *Int. J. Electronics Communication Engineering* 5(3):343–349.
6. Varshavsky, V., M. Kishinevsky, V. Marakhovsky, et al. 1990. *Self-timed control of concurrent processes*. Kluwer Academic Publs. 245 p.
7. Smith, S. C., and J. Di. 2009. *Designing asynchronous circuits using NULL convention logic (NCL)*. Synthesis lectures on digital circuits and systems ser. Springer. 96 p. doi: 10.2200/S00202ED1V01Y200907DCS023.
8. Stepchenkov, Y. A., A. N. Kamenskih, Y. G. Diachenko, Y. V. Rogdestvenski, and D. Y. Diachenko. 2020. Improvement of the natural self-timed circuit tolerance to shortterm soft errors. *ASTESJ* 5(2):44–56. doi: 10.25046/aj050206.
9. Sokolov, I. A., Yu. A. Stepchenkov, Yu. V. Rozhdestvenskiy, and Yu. G. Diachenko. 2022. An approximate evaluation of the efficiency of synchronous and self-timed methodologies in designing failure-tolerant computing and control systems. *Automat. Rem. Contr.* 83(2):264–272.
10. Dubrova, E. 2013. *Fault-tolerant design*. New York, NY: Springer. 200 p. doi: 10.1007/978-1-4614-2113-9.
11. Hennessy, J. L., and D. A. Patterson. 2019. *Computer architecture: A quantitative approach*. 6th ed. Morgan Kaufmann. 936 p.
12. Danilov, I. A., M. S. Gorbunov, A. I. Shnaider, A. O. Balbekov, Y. B. Rogatkin, and S. G. Bobkov. 2016. DICE-based Muller C-elements for soft error tolerant asynchronous ICs. *16th European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems Proceedings*. IEEE. Art. No. F4. 4 p. doi: 10.1109/RADECS.2016.8093145.

Received June 20, 2022

Contributors

Sokolov Igor A. (b. 1954) — Doctor of Science in technology, Academician of RAS, director, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; isokolov@ipiran.ru

Stepchenkov Yuri A. (b. 1951) — Candidate of Science (PhD) in technology, head of department, leading scientist, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; YStepchenkov@ipiran.ru

Diachenko Yuri G. (b. 1958) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior scientist, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian

Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; diaura@mail.ru

Morozov Nikolay V. (b. 1956) — senior scientist, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; NMorozov@ipiran.ru

Stepchenkov Dmitri Y. (b. 1973) — senior scientist, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; Stepchenkov@mail.ru

Diachenko Denis Y. (b. 1987) — engineer-researcher, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; diaden87@gmail.com

ОБНАРУЖЕНИЕ ДРЕЙФА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

*А. А. Грушо¹, Н. А. Грушо², М. И. Забейхайло³, Д. В. Смирнов⁴,
Е. Е. Тимонина⁵, С. Я. Шоргин⁶*

Аннотация: Изменение свойств собираемых данных часто называют дрейфом данных (различные варианты смещения характеристик данных). Существование дрейфа в данных обучения системы искусственного интеллекта часто приводит к снижению эффективности машинного обучения (МО) и построенных на этих данных ошибочных решениях систем искусственного интеллекта (ИИ). В связи с этим проблемы выявления дрейфа в данных МО, момента образования дрейфа и последствий изменений данных обучения становятся актуальными. Предложен метод выявления дрейфа вероятностного распределения в произвольном метрическом пространстве большой размерности. Метод опирается на различие неизвестных вероятностных распределений в разных областях исходного пространства в случае наличия дрейфа. Рассмотрена модель дрейфа, состоящая из двух отличных друг от друга распределений вероятностей. Использование в основе метода шаров в метрическом пространстве позволяет создать эффективный алгоритм вычисления принадлежности точек данных одному из шаров, связанных с различными распределениями модели дрейфа. Это обстоятельство представляется существенным для выявления дрейфа распределения в пространстве большой размерности.

Ключевые слова: дрейф распределения; математическая статистика; эффективно вычисляемый алгоритм

DOI: 10.14357/08696527220402

1 Введение

В последнее время наблюдается взрывной рост информации, которую надо обрабатывать, используя методы ИИ. В основе большинства методов ИИ лежит МО. Эффективное использование МО в большинстве приложений предпола-

¹Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, grusho@yandex.ru

²Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, info@itake.ru

³Федеральный исследовательский «Информатика и управление» Российской академии наук, m.zabekhailo@yandex.ru

⁴ПАО Сбербанк России, dvlsmirnov@sberbank.ru

⁵Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, eltimon@yandex.ru

⁶Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, sshorgin@ipiran.ru

ет, что данные для МО являются однородными. Однако на практике это условие часто не выполняется. Здесь возможны многие причины: например, сбор данных проводился в разных местах в разное время. Изменение свойств собираемых данных часто называют дрейфом данных (различные варианты смещения характеристик данных). Существование дрейфа в данных обучения системы ИИ часто приводит к снижению эффективности МО и построенных на этих данных ошибочных решениях систем ИИ. В связи с этим становятся актуальными проблемы выявления дрейфа в данных МО, момента образования дрейфа и последствий изменений данных обучения.

Исследованиям указанных проблем посвящено много исследований. Подробную информацию о результатах этих исследований можно найти в последних обзорах на эту тему [1].

Многие методы выявления дрейфов основаны на понятии изменения вероятностного распределения данных [2–6]. Основная проблема в использовании статистических методов — это сложность вычислительных методов работы со статистикой в пространствах высокой размерности.

В данной работе рассмотрен один из подходов к решению задачи выявления дрейфов в вероятностных метрических пространствах большой размерности. Основная идея подхода состоит в существовании эффективных алгоритмов вычисления функций принадлежности данных различным шарам в метрических пространствах. Использование этого подхода уводит проблему вычисления дрейфа в область построения шаров с заданными простыми свойствами в метрических пространствах большой размерности.

2 Модель обнаружения дрейфа распределения

Пусть Ω — топологическое измеримое пространство высокой размерности, порожденное некоторой метрикой. Наблюдается случайная последовательность данных (точек данных) $X_1, X_2, \dots, X_n$. Изменение распределения в последовательности данных называется *дрейфом распределения*. Работа посвящена задаче выявления дрейфа распределения данных [1].

Простейшее решение задачи заключается в построении критерия значимости, настроенного на согласие с распределением первых N значений точек полученных данных. Если распределение не инвариантно относительно сдвига в последовательности данных, то критерий значимости выявит отклонение на другом непересекающемся участке данных от исходного (на начальном участке длины N), что будет означать наличие дрейфа. Если дрейф не выявлен, то это не значит, что дрейфа нет. Проблема состоит в построении критерия значимости на пространстве произвольной природы, имеющем высокую размерность. Таким образом, нужна дополнительная информация, уточняющая постановку задачи.

Прежде всего несколько упростим постановку задачи. Предположим, что возможны только два распределения $P_1 \neq P_2$ на Ω , которые определяют возможный дрейф распределения данных. Эти распределения неизвестны, но возможно

предположить некоторые их характеристики. Предположим, что существует шар V_1 такой, что в мере P_1 попадание точки данных в шар V_1 определяется вероятностью $P_1(V_1) > 1/2$ и диаметр шара V_1 не превосходит λ . Аналогично существует шар V_2 такой, что в мере P_2 попадание точки данных в шар V_2 определяется вероятностью $P_2(V_2) > 1/2$ и диаметр шара V_2 не превосходит λ . Также потребуем, чтобы шары не пересекались, т. е. $V_1 \cap V_2 = \emptyset$. Желательно выбрать значение параметра λ как можно меньше. Для того чтобы искать дрейф, выберем последовательные непересекающиеся участки данных одинаковой длины N и предположим, что дрейф существует, если на первом участке действует распределение P_1 , а на втором участке — распределение P_2 . При этом полагаем, что данные получаются с помощью независимых испытаний.

Задача решается построением статистического критерия для проверки гипотезы H_0 , что на обоих участках исследуемые данные распределены в соответствии с мерой P_1 , против альтернативы H_1 : на первом участке данные распределены в соответствии с мерой P_1 , а на втором — в соответствии с мерой P_2 . В силу многомерности исходного пространства какие-либо оценки неизвестных распределений нереальны, поэтому воспользуемся подходом из работы [7].

Все расстояния между данными в V_1 и в V_2 не превосходят λ . Из условия $P_1(V_1) > 1/2$ следует, что множество точек, полученных в соответствии с мерой P_1 в этом шаре V_1 , имеет порядок, значимо больший $N/2$. Аналогично из условия $P_2(V_2) > 1/2$ следует, что множество точек, полученных в соответствии с мерой P_2 в шаре V_2 , имеет порядок, значимо больший $N/2$. Число точек в V_1 , полученных в соответствии с мерой P_2 , значимо меньше $N/2$, так как большая часть из N точек в V_1 получена в соответствии с мерой P_1 .

Дальнейшие рассуждения основаны на предположении, что для каждой точки данных существует эффективный алгоритм, позволяющий вычислить принадлежность каждой из таких точек данных к шарам V_1 и V_2 . Известно, что точек, попавших в V_1 при распределении P_1 на участке длины N , значимо больше половины от всех точек. Тогда вычисляем, сколько точек принадлежат построенному на этом же участке данных шару V_2 . Их должно быть меньше $N/2$. Точек, полученных в соответствии с мерой P_1 , попавших в V_2 , должно быть меньше половины, так как больше половины попало в V_1 , а шары не пересекаются. Если эти условия выполняются, то можно сделать вывод о том, что на первом участке присутствуют точки, полученные с помощью распределения P_1 .

Рассмотрим шар V_2 на втором участке данных и вычислим все точки, которые принадлежат V_2 . В случае распределения P_2 их должно быть значимо больше $N/2$. Число точек, попавших в дополнительно построенный шар V_1 , значимо меньше $N/2$ точек, так как в случае действия распределения P_2 больше половины точек лежат в шаре V_2 , а шары не пересекаются. Отсюда можно сделать вывод о том, что на втором участке действует распределение P_2 . Проведенные вычисления доказывают наличие дрейфа распределений. Отсюда следует

Утверждение 1. *Описанный алгоритм позволяет выявлять дрейф в указанных условиях.*

Рассмотрим альтернативу. Пусть на обоих участках действует одно распределение P_1 . Тогда число точек из первого участка, попавших в шар V_1 , превосходит $N/2$. Что касается шара V_1 на втором участке, то на нем опять соберется значимо больше $N/2$ точек второго участка и он не может пересекаться построенным на этом участке шаром V_2 , где опять соберется меньше $N/2$ точек. В самом деле, шар V_2 не должен обладать свойством, что в него попадают больше $N/2$ точек со второго участка. Если V_1 и V_2 не пересекаются и вероятность попасть в каждый из них больше $1/2$, то по правилам теории вероятностей вероятность попасть в объединение этих шаров больше 1. Это противоречит определению вероятностной меры. Поэтому на втором участке может быть только мера P_1 . Отсюда получаем следующее

Утверждение 2. *В случае отсутствия дрейфа распределения построенный алгоритм однозначно это определяет.*

3 Пример применения метода выявления дрейфа распределения

Рассмотрим простейший пример применения описанных алгоритмов. Пусть Ω — d -мерное евклидово пространство. Определим трансформацию Φ пространства Ω следующим образом:

$$\Phi(x) = x + \alpha, \quad \forall x \in \Omega,$$

где α — некоторое смещение, $\alpha \in \Omega$.

Определим меры P_1 и P_2 :

$$P_1 = (1 - \varepsilon)V_1 + \varepsilon\varphi; \quad P_2 = (1 - \varepsilon)(V_1 + \alpha) + \varepsilon\varphi,$$

где V_1 — это шар радиуса λ с равномерным распределением на нем; соответственно, $V_1 + \alpha$ — это также шар радиуса λ с равномерным распределением на нем. Выбором α можно сделать шары непересекающимися. Здесь φ — это нормальное распределение, плотность которого не превосходит 1.

Проверим условия существования дрейфа в этих условиях. Из предположения о независимости появления данных следует выполнение следующих неравенств:

$$P_1(V_1) \geq 1 - \varepsilon > \frac{1}{2}; \quad P_2(V_1 + \alpha) \geq 1 - \varepsilon > \frac{1}{2}.$$

Из условия, что шары не пересекаются, следует возможность применения утверждения 1. Таким образом доказывается наличие смещения в рассмотренных условиях.

Рассмотрим, как будет выглядеть ситуация отсутствия дрейфа. В этом случае $\alpha = 0$, $P_1 = P_2$ и шары V_1 на каждом участке данных имеют больше половины точек, а на не пересекающихся с V_1 шарах V_2 точек меньше $N/2$ на каждом участке данных. Согласно утверждению 2 это значит, что дрейфа распределений нет.

4 Заключение

В работе предложен метод выявления дрейфа вероятностного распределения в произвольном метрическом пространстве большой размерности. Метод опирается на различие неизвестных вероятностных распределений в разных областях исходного пространства в случае наличия дрейфа. Рассмотрена модель дрейфа, состоящая из двух распределений вероятностей $P_1 \neq P_2$. Предложенный метод при выполнении его условий легко переносится на случай различных распределений $P_1, P_2, \dots, P_k$.

Использование в основе метода шаров в метрическом пространстве позволяет создать эффективный алгоритм вычисления принадлежности точек данных одному из шаров, связанных с различными распределениями модели дрейфа. Это обстоятельство представляется существенным для выявления дрейфа распределения в пространстве большой размерности.

В работе приведен простейший пример применения метода для одного класса распределений в евклидовом пространстве большой размерности.

Вместе с тем проблема эффективного построения шаров с заданными свойствами в произвольных метрических пространствах высокой размерности авторами статьи не найдена.

Литература

1. Lu J., Liu A., Dong F., Gu F., Gama J., Zhang G. Learning under concept drift: A review // IEEE T. Knowl. Data En., 2018. Vol. 12. P. 2346–2363. doi: 10.1109/TKDE.2018.2876857.
2. Schlimmer J. C., Granger R. H., Jr. Incremental learning from noisy data // Mach. Learn., 1986. Vol. 1. No. 3. P. 317–354.
3. Gama J., Zliobaité I., Bifet A., Pechenizkiy M., Bouchachia A. A survey on concept drift adaptation // ACM Comput. Surv., 2014. Vol. 46. No. 4. P. 1–37.
4. Zliobaité I., Hollmén J. Optimizing regression models for data streams with missing values // Mach. Learn., 2014. Vol. 99. No. 1. P. 47–73.
5. Lu N., Lu J., Zhang G., Lopez de Mantaras R. A concept drift-tolerant case-base editing technique // Artif. Intell., 2016. Vol. 230. P. 108–133.
6. Losing V., Hammer B., Wersing H. KNN classifier with self-adjusting memory for heterogeneous concept drift // 16th Conference (International) on Data Mining Proceedings. — IEEE, 2016. P. 291–300.
7. Грушо А. А. Статистические критерии значимости для кластерных структур, основанные на попарных мерах близости // Обозрение прикладной и промышленной математики, 1996. Т. 3. № 1. С. 43–46.

Поступила в редакцию 14.09.22

DETECTION OF DISTRIBUTION DRIFT

*A. A. Grusho¹, N. A. Grusho¹, M. I. Zabezhailo¹, D. V. Smirnov², E. E. Timonina¹,
and S. Ya. Shorgin¹*

¹Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation

²Sberbank of Russia, 19 Vavilov Str., Moscow 117999, Russian Federation

Abstract: Changing the properties of the data being collected is often referred to as data drift (various options for shifting the characteristics of the data). The existence of drift in artificial intelligence system training data often leads to a decrease in the efficiency of machine learning and erroneous solutions of artificial intelligence systems built on these data. In this regard, the problems of detecting drift in machine learning data, the moment of drift formation, and the consequences of changes in training data become relevant. The work proposes a method for detecting the drift of a probability distribution in an arbitrary metric space of large dimension. The method relies on the difference between unknown probability distributions in different regions of the original space in the event of drift. A drift model consisting of two different probability distributions is considered. Using the balls in metric space as the basis of the method allows one to create an efficient algorithm for calculating the ownership of data points to one of the balls associated with different distributions of the drift model. This circumstance seems to be essential for revealing the drift of a distribution in a high-dimensional space.

Keywords: distribution drift; mathematical statistics; efficiently calculated algorithm

DOI: 10.14357/08696527220402

References

1. Lu, J., A. Liu, F. Dong, F. Gu, J. Gama, and G. Zhang. 2018. Learning under concept drift: A review. *IEEE T. Knowl. Data En.* 12:2346–2363. doi: 10.1109/TKDE.2018.2876857.
2. Schlimmer, J. C., and R. H. Granger, Jr. 1986. Incremental learning from noisy data. *Mach. Learn.* 1(3):317–354.
3. Gama, J., I. Zliobaité, A. Bifet, M. Pechenizkiy, and A. Bouchachia. 2014. A survey on concept drift adaptation. *ACM Comput. Surv.* 46(4):1–37.
4. Zliobaité, I., and J. Hollmén. 2014. Optimizing regression models for data streams with missing values. *Mach. Learn.* 99(1):47–73.
5. Lu, N., J. Lu, G. Zhang, and R. Lopez de Mantaras. 2016. A concept drift-tolerant case-base editing technique. *Artif. Intell.* 230:108–133.
6. Losing, V., B. Hammer, and H. Wersing. 2016. KNN classifier with self-adjusting memory for heterogeneous concept drift. *16th Conference (International) on Data Mining Proceedings.* IEEE. 291–300.

7. Grusho, A. A. 1996. Statisticheskie kriterii znachimosti dlya klasternykh struktur, osnovannye na poparnykh merakh blizosti [Statistical significance criteria for cluster structures based on pairwise proximity measures]. *Obozrenie promyshlennoy i prikladnoy matematiki* [Surveys in Applied and Industrial Mathematics] 3(1):43–46.

Received September 14, 2022

Contributors

Grusho Alexander A. (b. 1946) — Doctor of Science in physics and mathematics, professor, principal scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; grusho@yandex.ru

Grusho Nikolai A. (b. 1982) — Candidate of Science (PhD) in physics and mathematics, senior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; info@itake.ru

Zabezhalo Michael I. (b. 1956) — Doctor of Science in physics and mathematics, principal scientist, A. A. Dorodnicyn Computing Center, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 40 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; m.zabezhalo@yandex.ru

Smirnov Dmitry V. (b. 1984) — business partner for IT security department, Sberbank of Russia, 19 Vavilov Str., Moscow 117999, Russian Federation; dvlsmirnov@sberbank.ru

Timonina Elena E. (b. 1952) — Doctor of Science in technology, professor, leading scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; eltimon@yandex.ru

Shorgin Sergey Ya. (b. 1952) — Doctor of Science in physics and mathematics, professor, principal scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; sshorgin@ipiran.ru

ОЦЕНКИ СКОРОСТИ СХОДИМОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ДЛЯ ОДНОГО КЛАССА НЕСТАЦИОНАРНЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ С НЕТЕРПЕЛИВЫМИ КЛИЕНТАМИ

И. А. Ковалёв¹, Я. А. Сатин², А. И. Зейфман³

Аннотация: Рассматривается нестационарная система массового обслуживания с S серверами и нетерпеливыми клиентами в предположении, что интенсивности поступления новых требований уменьшаются с ростом очереди. Рассмотрен процесс $X(t)$, описывающий число требований в такой системе, доказано существование предельного режима распределения вероятностей состояний и предельного среднего для $X(t)$, получены оценки скорости сходимости к предельному режиму и предельному среднему. Получены оценки устойчивости. Для исследования применен подход, основанный на понятии логарифмической нормы операторной функции. В качестве примера рассмотрена простая модель нестационарной системы, в которой интенсивности требований линейно убывают с увеличением длины очереди.

Ключевые слова: скорость сходимости; эргодичность; логарифмическая норма; устойчивость; системы массового обслуживания

DOI: 10.14357/08696527220403

1 Введение

Рассмотрим модель массового обслуживания с S серверами, интенсивности поступления требований в которую уменьшаются при увеличении длины очереди. Такого рода модели встречаются, например, в [1–7] и называются там системами, в которых потенциальным клиентам не нравятся большие очереди. Заявки поступают в систему с интенсивностями $\phi_i \lambda(t)$ (где коэффициенты ϕ_i монотонно убывают, т. е. интенсивность поступления требований уменьшается с ростом очереди), а обслуживаются с интенсивностями $\mu_k(t) = \mu(t) \min(k, S)$.

Пусть $X(t)$, $t \geq 0$, — процесс, описывающий число требований в рассматриваемой системе массового обслуживания. Это процесс рождения и гибели (ПРГ) с интенсивностями рождения и гибели:

¹Вологодский государственный университет; Московский центр фундаментальной и прикладной математики Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, kovalev.iv96@yandex.ru

²Вологодский государственный университет, yacovi@mail.ru

³Вологодский государственный университет; Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук; Вологодский научный центр Российской академии наук; Московский центр фундаментальной и прикладной математики Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, a_zeifman@mail.ru

$$\lambda_i(t) = \phi_i \lambda(t), \quad \text{если } i \geq 0;$$

$$\mu_k(t) = \begin{cases} k\mu(t), & \text{если } k \leq S; \\ S\mu(t), & \text{если } k > S. \end{cases}$$

Предполагаем, что все функции, описывающие интенсивности переходов, неотрицательны и локально интегрируемы на $[0, \infty)$.

2 Скорость сходимости

Для получения оценки скорости сходимости применим подход, изложенный в [8]. Обозначив через $\mathbf{p}(t) = (p_0(t), p_1(t), \dots)^T$ вектор вероятностей состояний в данный момент времени t для процесса $X(t)$, получаем прямую систему Колмогорова:

$$\frac{d\mathbf{p}(t)}{dt} = A(t) \mathbf{p}(t), \quad (1)$$

где

$$A(t) = \begin{pmatrix} -\phi_0 \lambda(t) & \mu(t) & 0 \\ \phi_0 \lambda(t) & -(\phi_1 \lambda(t) + \mu(t)) & \min(2, S)\mu(t) \\ 0 & \phi_1 \lambda(t) & -(\phi_2 \lambda(t) + \min(2, S)\mu(t)) \\ 0 & 0 & \phi_2 \lambda(t) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots \\ 0 & \dots \\ \min(3, S)\mu(t) & \dots \\ -(\phi_3 \lambda(t) + \min(3, S)\mu(t)) & \dots \\ \vdots & \ddots \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Предполагаем, что матрица интенсивности существенно ограничена, т. е.

$$\sup_i |a_{ii}(t)| \leq L < \infty \text{ почти для всех } t \geq 0.$$

Обозначим через $\|\cdot\|$ l_1 -норму вектора, $\|x\| = \sum |x_i|$, $\|B\| = \sup_j \sum_i |b_{ij}|$, если $B = (b_{ij})_{i,j=0}^\infty$, и обозначим через Ω множество всех векторов из l_1 с неотрицательными координатами и единичной нормой. Тогда имеем

$$\|A(t)\| = 2 \sup_k |a_{kk}(t)| \leq 2L \text{ почти для всех } t \geq 0.$$

Исключим нулевое состояние, полагая

$$p_0(t) = 1 - \sum_{i \geq 1} p_i(t),$$

и получим из (1)

$$\frac{d\mathbf{z}}{dt} = B(t)\mathbf{z}(t) + \mathbf{f}(t), \quad (3)$$

где

$$B(t) = \begin{pmatrix} -(\phi_0\lambda(t) + \phi_1\lambda(t) + \mu(t)) & \min(2, S)\mu(t) - \phi_0\lambda(t) & & & \\ \phi_1\lambda(t) & -(\phi_2\lambda(t) + \min(2, S)\mu(t)) & & & \\ 0 & \phi_2\lambda(t) & & & \\ \vdots & \vdots & & & \\ & -\phi_0\lambda(t) & \cdots & & \\ & \min(3, S)\mu(t) & \cdots & & \\ & -(\phi_3\lambda(t) + \min(3, S)\mu(t)) & \cdots & & \\ & \vdots & \ddots & & \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{f}(t) = (\phi_0\lambda(t), 0, 0, \dots)^T.$$

Для получения нужных свойств и оценок потребуются некоторые вспомогательные «взвешенные» нормы. Рассмотрим последовательность положительных чисел $\{d_i\}$, такую что $d = \inf d_i > 0$, матрицу

$$D = \begin{pmatrix} d_1 & d_1 & d_1 & \cdots \\ 0 & d_2 & d_2 & \cdots \\ 0 & 0 & d_3 & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix}$$

и пространство последовательностей $l_{1D} = \{\mathbf{z} / \|\mathbf{z}\|_{1D} = \|D\mathbf{z}\|_1 < \infty\}$.

Тогда из (3) получим уравнение

$$\frac{d\mathbf{u}}{dt} = W(t)\mathbf{u}(t) + \mathbf{g}(t),$$

где

$$\mathbf{u}(t) = D\mathbf{z}(t); \quad \mathbf{g}(t) = D\mathbf{f}(t);$$

$$W(t) = DB(t)D^{-1} = \begin{pmatrix} -(\phi_0\lambda(t) + \mu(t)) & \frac{d_1}{d_2}\mu(t) & & & & \\ \frac{d_2}{d_1}\phi_1\lambda(t) & -(\phi_1\lambda(t) + \min(2, S)\mu(t)) & & & & \\ 0 & \frac{d_3}{d_2}\phi_2\lambda(t) & & & & \\ \vdots & \vdots & & & & \\ & 0 & \cdots & & & \\ & \frac{d_2}{d_3}\min(2, S)\mu(t) & \cdots & & & \\ & -(\phi_2\lambda(t) + \min(3, S)\mu(t)) & \cdots & & & \\ & \vdots & \ddots & & & \end{pmatrix}.$$

Положим

$$\gamma_*(t) = \inf_i \left(|w_{ii}(t)| - \sum_{j \neq i} |w_{ji}(t)| \right).$$

Тогда

$$\begin{aligned} \|B(t)\|_{1D} &= \|DB(t)D^{-1}\| = \|W(t)\| = \sup_i \left(|w_{ii}(t)| + \sum_{j \neq i} |w_{ji}(t)| \right) = \\ &= \sup_i \left(2|w_{ii}(t)| + \sum_{j \neq i} |w_{ji}(t)| - |w_{ii}(t)| \right) \leq 2 \sup_i |w_{ii}(t)| - \gamma_*(t) \leq 2L - \gamma_*(t). \end{aligned}$$

Следовательно, операторная функция $B(t)$ ограничена в пространстве l_{1D} . Получаем

$$\gamma(B(t))_{1D} = \gamma(W(t)) = \sup_i \left(w_{ii}(t) + \sum_{j \neq i} |w_{ji}(t)| \right) = -\gamma_*(t).$$

Далее оценим логарифмическую норму оператора $W(t)$. Обозначим через $-\alpha_k(t)$ сумму всех элементов k -го столбца матрицы $W(t)$:

$$\alpha_k(t) = \begin{cases} \mu(t) - \left(\frac{d_2}{d_1} \phi_1 - \phi_0 \right) \lambda(t), & k = 1, \\ \left(\min(k, S) - \frac{d_{k-1}}{d_k} \min(k-1, S) \right) \mu(t) - \left(\frac{d_{k+1}}{d_k} \phi_k - \phi_{k-1} \right) \lambda(t), & k > 1, \end{cases}$$

и $\gamma_*(t) = \inf_k \alpha_k$. Пусть

$$d_k = \begin{cases} \delta \in \left(1; \frac{S}{S-1}\right) & \text{при } 1 \leq k \leq S; \\ \delta d_{k-1} & \text{при } k > S \text{ и } \delta > 1. \end{cases}$$

Получаем

$$\begin{aligned} \alpha_k(t) &= \begin{cases} \mu(t) + (\phi_{k-1} - \phi_k) \lambda(t), & 1 \leq k < S; \\ \mu(t) - (\delta \phi_k - \phi_{k-1}) \lambda(t), & k = S; \\ \left(S - \frac{1}{\delta} S\right) \mu(t) - (\delta \phi_k - \phi_{k-1}) \lambda(t), & k > S, \end{cases} \geq \\ &\geq \begin{cases} \mu(t) - (\delta \phi_S - \phi_{S-1}) \lambda(t); \\ \left(S - \frac{1}{\delta} S\right) \mu(t) - (\delta \phi_k - \phi_k) \lambda(t), \end{cases} \geq \\ &\geq \begin{cases} \mu(t) - (\delta - 1) \phi_S \lambda(t); \\ \left(S - \frac{1}{\delta} S\right) \mu(t) - (\delta - 1) \phi_S \lambda(t), \end{cases} \geq \begin{cases} \mu(t) - (\delta - 1) \phi_S \lambda(t); \\ \frac{\delta - 1}{\delta} (S \mu(t) - \delta \phi_S \lambda(t)), \end{cases} \end{aligned}$$

а значит,

$$\gamma_*(t) \geq \frac{\delta - 1}{\delta} (S \mu(t) - \delta \phi_S \lambda(t))$$

и справедливо следующее утверждение.

Теорема 1. Пусть найдется $\delta \in (1; S/(S-1))$, такое что

$$\int_0^{\infty} (S \mu(t) - \delta \phi_S \lambda(t)) dt = +\infty.$$

Тогда $X(t)$ слабо эргодичен, причем

$$\|\mathbf{p}^1(t) - \mathbf{p}^2(t)\|_{1D} \leq e^{-(\delta-1)/\delta \int_0^t (S \mu(u) - \delta \phi_S \lambda(u)) du} \|\mathbf{p}^1(0) - \mathbf{p}^2(0)\|_{1D}$$

для любых начальных условий $\mathbf{p}^1(0) \in \Omega$, $\mathbf{p}^2(0) \in \Omega$ и всех $t \geq 0$.

3 Устойчивость

Здесь рассмотрим применение общего метода оценки устойчивости (см. недавний обзор в [9]) для исследуемых моделей.

Рассмотрим процесс $\bar{X}(t)$, $t \geq 0$, описывающий число требований в «возмущенной» системе обслуживания с соответствующей транспонированной матрицей

интенсивностей $\bar{A}(t)$, где матрица «возмущения» $\hat{A}(t) = A(t) - \bar{A}(t)$ в некотором смысле мала и имеет ту же структуру с соответствующими возмущенными интенсивностями $\bar{\lambda}_k(t)$ и $\bar{\mu}_k(t)$.

Пусть

$$|\lambda_k(t) - \bar{\lambda}_k(t)| = |\hat{\lambda}_k(t)| \leq \hat{\epsilon}, \quad |\mu_k(t) - \bar{\mu}_k(t)| = |\hat{\mu}_k(t)| \leq \hat{\epsilon}.$$

Тогда из (2) получаем ограничение

$$\|\hat{A}(t)\| = 2 \sup_k |\hat{a}_{kk}(t)| \leq 4\hat{\epsilon}$$

и из теоремы 2 статьи [9] следующие оценки.

Теорема 2. Если процесс $X(t)$ 1D-экспоненциально слабо эргодичен, то $\bar{X}(t)$ также 1D-экспоненциально слабо эргодичен, т. е.

$$e^{-\int_s^t \gamma_*(\tau) d\tau} \leq M e^{-\alpha(t-s)}$$

для некоторых положительных M и α и

$$H = \sup_{|i-j|=1} \frac{d_i}{d_j} < \infty.$$

При этом справедлива следующая оценка устойчивости:

$$\limsup_{t \rightarrow \infty} \|\mathbf{p}(t) - \bar{\mathbf{p}}(t)\|_{1D} \leq \frac{M\hat{\epsilon}(2M(H+1)+a)}{a(a-2M\hat{\epsilon}(H+1))}.$$

Более того, если

$$W = \inf_{k \geq 1} \frac{d_{k+1}}{k} > 0,$$

то

$$\limsup_{t \rightarrow \infty} |E(t, 0) - \bar{E}(t, 0)| \leq \frac{M\hat{\epsilon}(2M(H+1)+a)}{Wa(a-2M\hat{\epsilon}(H+1))}.$$

4 Пример

Пусть число серверов в системе $S = 5$, а интенсивности имеют вид:

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= 2 + 0,5 \sin 2\pi t; \\ \mu(t) &= 3 + 2 \cos 2\pi t; \\ \phi_k &= \begin{cases} 3 & \text{при } k < S; \\ \frac{3}{k-S+2} & \text{при } k \geq S. \end{cases} \end{aligned}$$

Для теоремы 1 и соответствующей теоремы 2 об «устойчивости» возьмем $\delta = 6/5$. Очевидно, что $L \leq 65$.

Тогда $H = \delta < 1,25$ и $e^{-\int_0^t ((\delta-1)/\delta)(S\mu(\tau)-\delta\phi_S\lambda(\tau)) d\tau} \leq 7e^{-1,9t}$, поэтому можно взять $a = 1,9$ и $M = 7$.

Получаем оценку скорости сходимости

$$\|\mathbf{p}^1(t) - \mathbf{p}^2(t)\|_{1D} \leq 7e^{-1,9t} \|\mathbf{p}^1(0) - \mathbf{p}^2(0)\|_{1D}$$

из теоремы 1.

Соответствующие оценки возмущений имеют вид:

$$\limsup_{t \rightarrow \infty} \|\mathbf{p}(t) - \bar{\mathbf{p}}(t)\|_{1D} \leq \frac{124\hat{\epsilon}}{1,9 - 31,5\hat{\epsilon}};$$

$$\limsup_{t \rightarrow \infty} |E(t, 0) - \bar{E}(t, 0)| \leq \frac{124\hat{\epsilon}}{0,24(1,9 - 31,5\hat{\epsilon})}$$

из теоремы 2.

Далее следуем методу, который был подробно описан в [10, 11], а именно: выбираем размерность усеченного процесса (в данном случае — 100), интервал, на котором достигается желаемая точность ([0, 10]), и сам предельный интервал ([10, 11]), строим графики ожидаемого числа требований в системе и некоторых наиболее вероятных состояний.

На рис. 1 и 2 показано поведение вероятности пустой очереди и среднего значения. На рис. 3 можно видеть оценки устойчивости для соответствующих предельных характеристик с $\hat{\epsilon} = 10^{-3}$.

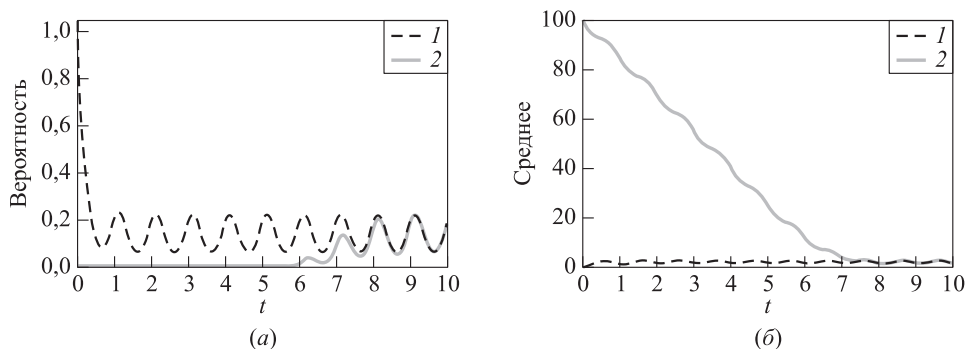


Рис. 1 Вероятность пустой очереди (а) и среднее $E(t, k)$ (б) для $t \in [0, 10]$: 1 — $X(0) = 0$; 2 — $X(0) = 100$

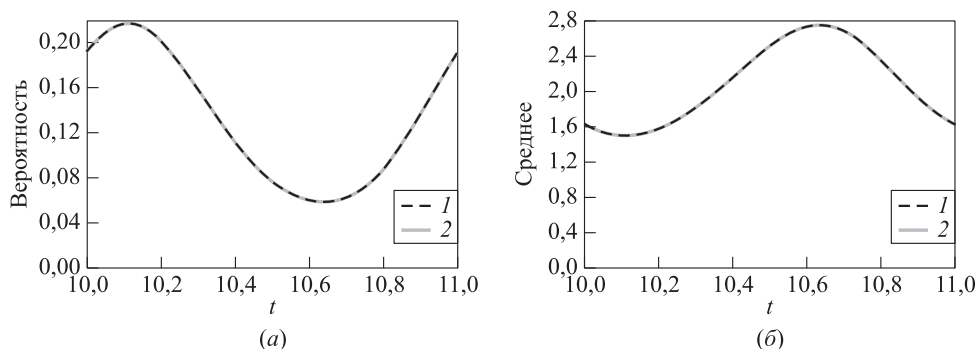


Рис. 2 Аппроксимации предельной вероятности пустой очереди (а) и предельного среднего значения $E(t, k)$ (б) для $t \in [10, 11]$: 1 — $X(0) = 0$; 2 — $X(0) = 100$

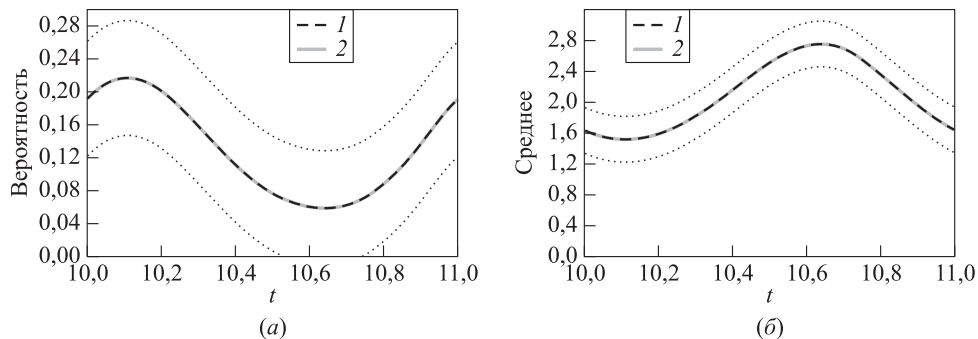


Рис. 3 Оценки устойчивости для предельной вероятности пустой очереди (а) и предельного среднего значения (б) для $t \in [10, 11]$, $\hat{\epsilon} = 0,001$: 1 — $X(0) = 0$; 2 — $X(0) = 100$

Литература

1. Reynolds J. E. The stationary solution of a multiserver queueing model with discouragement // Oper. Res., 1968. Vol. 16. P. 64–71.
2. Natvig B. On the transient state probabilities for a queueing model where potential customers are discouraged by queue length // J. Appl. Probab., 1974. Vol. 11. P. 345–354.
3. Van Doorn E. The transient state probabilities for a queueing model where potential customers are discouraged by queue length // J. Appl. Probab., 1981. Vol. 18. P. 499–506.
4. Srivastava H. M., Kashyap B. R. K. Special functions in queueing theory and related stochastic processes // B. Am. Math. Soc., 1984. Vol. 10. No. 1. P. 139–141.
5. Parthasarathy P. R., Selvaraju N. Transient analysis of a queue where potential customers are discouraged by queue length // Math. Probl. Eng., 2001. Vol. 7. P. 433–454.

6. *Granovsky B. L., Zeifman A.* Nonstationary queues: Estimation of the rate of convergence // *Queueing Syst.*, 2004. Vol. 46. P. 363–388.
7. *Jain M., Singh M.* Transient analysis of a Markov queueing model with feedback, discouragement and disaster // *Int. J. Applied Computational Mathematics*, 2020. Vol. 6. No. 2. P. 1–14.
8. *Zeifman A.* On the study of forward Kolmogorov system and the corresponding problems for inhomogeneous continuous-time Markov chains // *Differential and difference equations with applications.* / Eds. S. Pinelas, J. R. Graef, S. Hilger, P. Kloeden, C. Schinas. — Springer proceedings in mathematics and statistics ser. — Springer, 2020. Vol. 333. P. 21–39.
9. *Zeifman A., Korolev V., Satin Y.* Two approaches to the construction of perturbation bounds for continuous-time Markov chains // *Mathematics*, 2020. Vol. 8. Iss. 2. Art. No. 253. 25 p.
10. *Zeifman A., Satin Ya., Korolev V., Shorgin S.* On truncations for weakly ergodic inhomogeneous birth and death processes // *Int. J. Appl. Math. Comp.*, 2014. Vol. 24. P. 503–518.
11. *Zeifman A. I., Korotysheva A. V., Korolev V. Y., Satin Y. A.* Truncation bounds for approximations of inhomogeneous continuous-time Markov chains // *Theor. Probab. Appl.*, 2017. Vol. 61. No. 3. P. 513–520.

Поступила в редакцию 18.08.22

CONVERGENCE RATE AND STABILITY ESTIMATES FOR A CLASS OF NONSTATIONARY MARKOV MODELS OF QUEUES WITH IMPATIENT CUSTOMERS

I. A. Kovalev^{1,2}, Y. A. Satin¹, and A. I. Zeifman^{1,2,3,4}

¹Department of Applied Mathematics, Vologda State University, 15 Lenin Str., Vologda 160000, Russian Federation

²Moscow Center for Fundamental and Applied Mathematics, M. V. Lomonosov Moscow State University, 1-52 Leninskie Gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation

³Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

⁴Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, 56A Gorky Str., Vologda 160014, Russian Federation

Abstract: A nonstationary queueing system with S servers and impatient customers is considered, i. e., the arrival intensities decrease with the growth of the queue. The process $X(t)$ describing the number of customers in such a system is considered, the existence of a limiting mode of the probability distribution of states and a limiting mean for $X(t)$ is proved, and the estimates of the rate of convergence to the limiting mode and the limiting mean are obtained. Also, the

perturbation estimates are obtained. The authors apply an approach based on the concept of the logarithmic norm of the operator function. As an example, a simple model of a nonstationary system is considered in which potential customers are discouraged by queue length.

Keywords: rate of convergence; ergodicity bounds; logarithmic norm; perturbation; queuing systems

DOI: 10.14357/08696527220403

References

1. Reynolds, J. E. 1968. The stationary solution of a multiserver queueing model with discouragement. *Oper. Res.* 16:64–71.
2. Natvig, B. 1974. On the transient state probabilities for a queueing model where potential customers are discouraged by queue length. *J. Appl. Probab.* 11:345–354.
3. Van Doorn, E. 1981. The transient state probabilities for a queueing model where potential customers are discouraged by queue length. *J. Appl. Probab.* 18:499–506.
4. Srivastava, H. M., and B. R. K. Kashyap. 1984. Special functions in queueing theory and related stochastic processes. *B. Am. Math. Soc.* 10(1):139–141.
5. Parthasarathy, P. R., and N. Selvaraju. 2001. Transient analysis of a queue where potential customers are discouraged by queue length. *Math. Probl. Eng.* 7:433–454.
6. Granovsky, B. L., and A. I. Zeifman. 2004. Nonstationary queues: Estimation of the rate of convergence. *Queueing Syst.* 46:363–388.
7. Jain M., and M. Singh. 2020. Transient analysis of a Markov queueing model with feedback, discouragement and disaster. *Int. J. Applied Computational Mathematics* 6(2):1–14.
8. Zeifman, A. 2020. On the study of forward Kolmogorov system and the corresponding problems for inhomogeneous continuous-time Markov chains. *Differential and difference equations with applications*. Eds. S. Pinelas, J. R. Graef, S. Hilger, P. Kloeden, and C. Schinas. Springer proceedings in mathematics and statistics ser. Springer. 333:21–39.
9. Zeifman, A., V. Korolev, and Y. Satin. 2020. Two approaches to the construction of perturbation bounds for continuous-time Markov chains. *Mathematics* 8(2):253. 25 p.
10. Zeifman, A. I., Y. A. Satin, V. Yu. Korolev, and S. Ya. Shorgin. 2014. On truncations for weakly ergodic inhomogeneous birth and death processes. *Int. J. Appl. Math. Comp.* 24:503–518.
11. Zeifman, A. I., A. V. Korotysheva, V. Yu. Korolev, and Ya. A. Satin. 2016. Truncation bounds for approximations of inhomogeneous continuous-time Markov chains. *Theor. Probab. Appl.* 61(3):513–520.

Received August 18, 2022

Contributors

Kovalev Ivan A. (b. 1996) — PhD student, Vologda State University, 15 Lenin Str., Vologda 160000, Russian Federation; scientist, Moscow Center for Fun-

damental and Applied Mathematics, M.V. Lomonosov Moscow State University, 1-52 Leninskie Gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation; kovalev.iv96@yandex.ru

Satin Yacov A. (b. 1978) — Candidate of Science (PhD) in physics and mathematics, associate professor, Department of Applied Mathematics, Vologda State University, 15 Lenin Str., Vologda 160000; yacovi@mail.ru

Zeifman Alexander I. (b. 1954) — Doctor of Science in physics and mathematics, professor, head of department, Vologda State University, 15 Lenin Str., Vologda 160000, Russian Federation; senior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; principal scientist, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, 56A Gorky Str., Vologda 160014, Russian Federation; senior scientist, Moscow Center for Fundamental and Applied Mathematics, M. V. Lomonosov Moscow State University, 1-52 Leninskie Gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation; a_zeifman@mail.ru

МЕТОДЫ ПОИСКА ИМПЛИЦИТНЫХ ЛОГИКО-СЕМАНТИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ В ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ТЕКСТАХ*

А. А. Гончаров¹

Аннотация: Анализируется проблема целенаправленного поиска фрагментов с имплицитными логико-семантическими отношениями (ЛСО) в параллельных текстах. Чтобы выяснить, возможен ли подобный поиск, рассмотрен потенциал параллельных текстов как источника лингвистического знания и проведен обзор исследований имплицитных ЛСО на материале таких текстов. Цель обзора — выявление методов, которые применяются для создания массивов фрагментов с имплицитными ЛСО. Показано, что параллельные тексты открывают широкие возможности поиска этих фрагментов, обусловленные тем, что в одном языке ЛСО может быть эксплицитным, а в другом — имплицитным (явление, известное как *bilingual explicit/implicit mismatch*). Для обнаружения подобных несоответствий используются методы: (1) дискурсивного парсинга; (2) обратного машинного перевода (МП); (3) двуязычного поиска с исключением. Таким образом, параллельные тексты, в отличие от моноязычных, позволяют решить задачу целенаправленного поиска фрагментов с имплицитными ЛСО и их последующего извлечения.

Ключевые слова: имплицитность; имплицитные логико-семантические отношения; целенаправленный поиск; обработка естественного языка; извлечение знания из текстов; параллельные тексты

DOI: 10.14357/08696527220404

1 Введение

Статья представляет собой завершение обзора методов поиска имплицитных ЛСО в текстах на естественном языке. Создание средств информатики, обеспечивающих поиск и последующий анализ ЛСО, способно внести вклад в развитие ряда направлений обработки естественного языка, среди которых извлечение знания из текстов, вопросно-ответные системы, автоматическое реферирование, МП.

В [1] дан обзор методов поиска имплицитных ЛСО в моноязычных текстах, а в настоящей статье — в параллельных. В работе используется ряд понятий, которые определены в [1]: эксплицитное/имплицитное ЛСО, аргументы ЛСО, фрагмент с ЛСО. Хотя параллельные тексты используются в изучении ЛСО реже моноязычных, они, как будет показано, открывают возможности, недоступные

* Исследование выполнено с использованием ЦКП «Информатика» ФИЦ ИУ РАН.

¹Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, a.gonch48@gmail.com

при работе с моновязычным материалом. Цель статьи — выяснить, можно ли целенаправленно искать фрагменты с имплицитными ЛСО в параллельных текстах. Для достижения этой цели проводится обзор работ, где имплицитные ЛСО исследуются на материале таких текстов.

2 Параллельные тексты как источник лингвистического знания

Еще в конце 1990-х гг. исследователи обратили внимание на возможности по извлечению знания о семантике языковых единиц, предоставляемые параллельными текстовыми корпусами. Так, Хельге Дювик в статье [2] выдвинул тезис о том, что параллельные корпусы способны укрепить эмпирические основания лингвистической семантики. По его мнению, оценка смысловых отношений между языковыми единицами, полученная в процессе металингвистических, философских и теоретических размышлений, субъективна. Как следствие, возникает вопрос о том, как проводить такую оценку, чтобы снизить степень ее субъективности. Согласно Х. Дювику, это можно сделать в ходе переводческой деятельности: во-первых, она широко распространена, а во-вторых, представляет собой редкую ситуацию, когда оценка смысловых отношений между языковыми единицами осуществляется в процессе языковой деятельности (а не упомянутых автором металингвистических и других размышлений). Два этих фактора позволяют считать оценки, полученные в процессе перевода, не субъективными, а интерсубъективными, где интерсубъективность может пониматься как «независимость употребления и понимания языковых выражений от [отдельных] лиц и обстоятельств» [3], занимая промежуточную позицию между субъективностью и объективностью. Тот факт, что результат оценок, сделанных при переводе, фиксируется в форме наблюдаемых отношений между исходным и переводным текстом, в свою очередь способствует «экстериоризации критериев, по которым должны оцениваться лингвистические описания»¹ [2, с. 51], т. е. переводу этих критериев из неявного состояния в явное.

Рафаэл Солки предложил взглянуть на параллельный корпус как на особый вид размеченного (= аннотированного) моновязычного корпуса, где текст перевода рассматривается как своеобразная «разметка» текста оригинала. Таким образом, отличие параллельного корпуса от моновязычного, снабженного каким-либо из привычных типов разметки (морфологической, синтаксической, семантической и др.), состоит лишь в том, что содержащаяся в параллельном корпусе «разметка» имеет весьма непривычный формат, так как сама по себе является текстом на естественном языке. При таком подходе вопросы качества перевода, представительности параллельного корпуса и языковых особенностей переводных текстов (т. н. *translationese*) уступают место вопросам о том, какие виды знания о тексте оригинала содержатся в его «разметке», т. е. в тексте перевода, и о том, как извлекать из такой «разметки» это знание [4, с. 36–37].

¹Здесь и далее перевод мой. — А. Г.

Схожих взглядов придерживается и Дэн Меламед: «Параллельные тексты — один из богатейших источников лингвистического знания, потому что перевод текста на другой язык может рассматриваться как детальная аннотация того, что этот текст означает» [5, с. 1].

Сравнивая мооязычные и параллельные корпуса, Дирк Ноэл сделал вывод о том, что мооязычный корпус хорош для подсчета форм лексических единиц, но не позволяет с легкостью раскрывать значения этих единиц. Параллельный корпус, напротив, предоставляет эту возможность: переводчики, создавая перевод, должны выбирать языковые средства, которые способны передать значение языковых единиц исходного текста в целевом тексте. Тем самым они непреднамеренно раскрывают значения лексических единиц, использованных как в оригинале, так и в переводе: единицы одного языка толкуются средствами другого [6, с. 757].

Именно эти свойства параллельного корпуса делают его ценным источником лингвистического знания об ЛСО, которое необходимо для разработки средств информатики, обеспечивающих поиск и последующий анализ ЛСО, особенно имплицитных. Вопрос же, поставленный Рафаэлом Солки, — как извлекать из текста перевода знание о тексте оригинала (например, о значении составляющих его языковых единиц) — по сути, находится в центре внимания исследователей при поиске фрагментов с имплицитными ЛСО в параллельных текстах, так как текст перевода используется ими для получения знания о том, в каком фрагменте текста оригинала имеется имплицитное ЛСО с выбранной семантикой, т. е. перевод действительно рассматривается как своего рода детальная разметка текста оригинала.

3 Поиск имплицитных логико-семантических отношений в параллельных текстах

В работах, где ЛСО исследуются на материале параллельных текстов, эти тексты используются прежде всего для лингвистического анализа семантики показателей ЛСО — коннекторов [7–10] — и для снятия их неоднозначности с целью повышения качества МП [11, 12]. Авторы ряда работ стремятся выяснить, может ли подстановка коннекторов во фрагменты с имплицитными ЛСО повысить качество МП [13, 14]. Существуют исследования, где на материале пословно выровненного параллельного корпуса предпринимается попытка спроецировать разметку, которой снабжены тексты на одном из языков, на тексты на другом языке [15]. Однако ни в одной из этих работ не решается задача целенаправленного поиска фрагментов с имплицитными ЛСО.

3.1 Дискурсивный парсинг

Вероятно, первой из работ, где была предпринята попытка решить эту задачу, стала статья, опубликованная в 2016 г. коллективом специалистов из Сямэнь-

ского университета (КНР) во главе с Чансин У [16]. Чтобы сгладить недостатки синтетических данных, которые генерируются на основе монологичных текстов путем удаления коннекторов из фрагментов с эксплицитными ЛСО¹, авторы этой работы предложили подход к извлечению фрагментов с имплицитными ЛСО из параллельного корпуса, основанный на том, что ЛСО, имплицитное в тексте на одном языке, может быть эксплицитным в тексте на другом языке (это явление было названо ими *bilingual explicit/implicit mismatch*). Для извлечения примеров использовался выровненный по предложениям китайско-английский параллельный корпус, который обрабатывался при помощи дискурсивного парсера для поиска пар фрагментов, где в тексте на китайском ЛСО было имплицитным, а в его переводе на английский — эксплицитным (= выражено коннектором).

Исходя из двух предпосылок: (1) коннектор однозначно указывает на семантику ЛСО; (2) ЛСО в оригинале и в переводе совпадают, — авторы работы сочли возможным рассматривать английский коннектор как метку, указывающую на семантику ЛСО в обоих языках: и в английском, и в китайском. Кроме того, они не только извлекали примеры имплицитных ЛСО из текстов на китайском языке, но и формировали синтетические примеры имплицитных ЛСО для английского языка, аргументируя это тем, что раз в китайском языке ЛСО было имплицитным, то и в английском коннектор может быть удален без потерь на уровне значения. Сам английский коннектор использовался в качестве метки, указывающей на семантику ЛСО (меток, непосредственно указывающих на семантику ЛСО, а не отсылающих к какому-либо коннектору, авторы не использовали). В итоге им удалось получить массив примеров, состоящий из пар вида:

- (1) ⟨(первый аргумент ЛСО_{кит}, второй аргумент ЛСО_{кит}), коннектор_{англ}⟩ — естественный пример имплицитного ЛСО на китайском;
- (2) ⟨(первый аргумент ЛСО_{англ}, второй аргумент ЛСО_{англ}), коннектор_{англ}⟩ — синтетический пример имплицитного ЛСО на английском.

Авторы называли такие пары «синтетическими примерами имплицитных ЛСО, обусловленными двуязычным материалом» (*bilingually-constrained synthetic implicit data*, *BiSynData*), противопоставляя их синтетическим примерам, полученным путем простого удаления коннекторов из монологичных текстов.

3.2 Обратный машинный перевод и дискурсивный парсинг

Еще одной работой, в которой развивается сходный подход к анализу имплицитных ЛСО, стала опубликованная в 2017 г. статья коллектива исследователей из Саарского университета (ФРГ) и Немецкого исследовательского центра по искусственному интеллекту (*Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz*, *DFKI*) во главе с Вэй Ши [17]. Ее авторы во многом исходят из тех

¹Этот тип данных и его недостатки описаны в первой части обзора — работе [1].

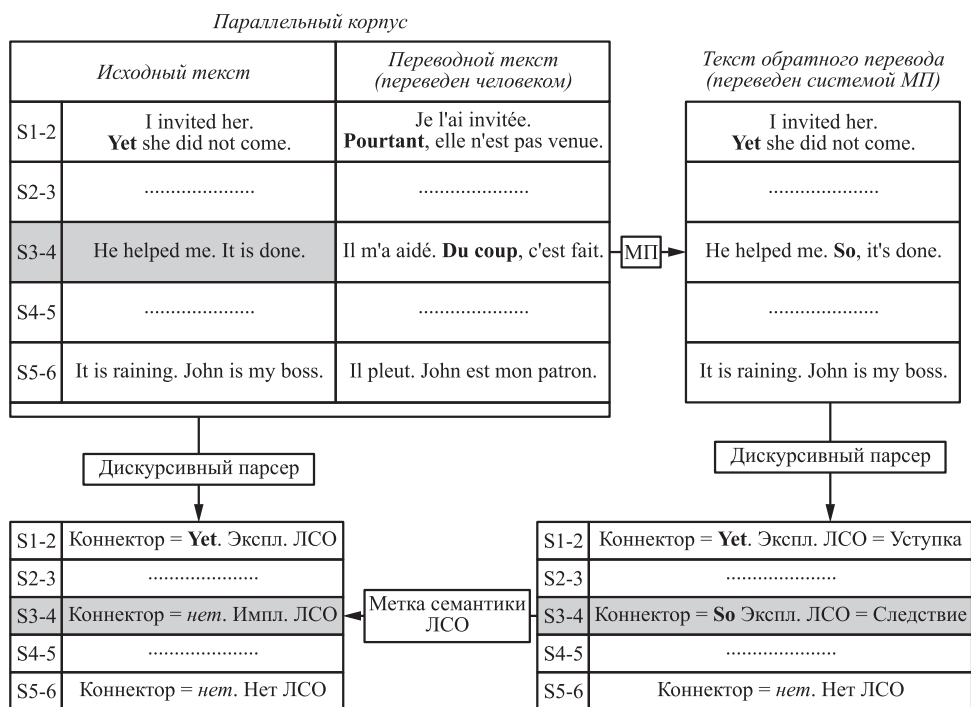


Схема технологии извлечения фрагментов с имплицитными ЛСО [17, с. 487]

же предпосылок, что и авторы работы [16]: профессиональные переводчики иногда добавляют в текст перевода коннекторы, отсутствовавшие в оригинале, или, напротив, опускают коннекторы при переводе. Авторы интересуют именно первый случай, поскольку переводчики путем добавления коннектора в текст перевода эксплицируют ЛСО, содержащееся в исходном тексте, и снимают его неоднозначность (предполагается, что семантика ЛСО при переводе не меняется).

Отличия подхода Вэй Ши от подхода Чансин У состоят, во-первых, в использовании выровненного по предложениям параллельного корпуса для другой языковой пары — английский–французский — и, во-вторых, в способе извлечения примеров, где в оригинале ЛСО имплицитно, а в переводе — эксплицитно. Схема технологии, использованной в подходе Вэй Ши, представлена на рисунке. Авторы утверждают, что профессиональные переводчики могут добавлять и опускать коннекторы при переводе, тогда как при МП имплицитные ЛСО в большинстве случаев остаются имплицитными, а эксплицитные — эксплицитными. Следовательно, если перевод, сделанный человеком — а значит, содержащий коннекторы в некоторых фрагментах, где их не было в оригинале,

перевести обратно на язык оригинала средствами МП, будет получен текст на языке оригинала, где ЛСО, эксплицированные профессиональными переводчиками, будут выражены коннекторами (на рисунке этому этапу соответствует стрелка «МП»).

Затем исходный текст и текст, полученный путем обратного МП, анализируются при помощи дискурсивного парсера (на рисунке этому этапу соответствуют две стрелки «Дискурсивный парсер»). После этого исходный текст сравнивается с обратным переводом и выявляются пары фрагментов, где в исходном тексте коннектор отсутствует, а в тексте обратного перевода он имеется. На рисунке эту ситуацию иллюстрируют строки с кодом S3-4: в исходном тексте ЛСО следствия имплицитно, в тексте французского перевода — выражено коннектором «du coup» ('так что', 'поэтому'), а в тексте обратного перевода — коннектором «so» (с тем же значением, что и у французского коннектора). Поскольку авторы исходят из того, что в большинстве случаев между коннектором и ЛСО существует однозначное соответствие, фрагмент обратного перевода с кодом S3-4, где использован коннектор «so», снабжается меткой «ЛСО следствия». А поскольку этот фрагмент, в свою очередь, соответствует фрагменту исходного текста (с тем же кодом), последний также снабжается меткой «ЛСО следствия» (на рисунке этому этапу соответствует стрелка «Метка семантики ЛСО»). Совокупность таких фрагментов исходного текста, снабженных метками семантики ЛСО, образует массив фрагментов с имплицитными ЛСО.

В более поздних работах [18, 19] Вэй Ши применил в целом тот же метод поиска имплицитных ЛСО, но с некоторыми изменениями: если раньше он использовал английские тексты, которые имели перевод лишь на французский, и переводил текст французского перевода обратно на английский, то теперь он использовал лишь те английские тексты, которые имели перевод сразу на три языка — французский, немецкий и чешский, и переводил тексты трех этих переводов обратно на английский. В результате он получал не пары, а четверки фрагментов, включающие один фрагмент английского оригинала и по одному фрагменту обратного перевода с французского, немецкого и чешского языков на английский. Автор разделил найденные им примеры на три класса:

- (1) ЛСО эксплицировано в тексте обратного перевода с одного языка;
- (2) ЛСО эксплицировано в текстах обратного перевода с двух языков;
- (3) ЛСО эксплицировано в текстах обратного перевода с трех языков.

Сравнивая эти примеры, Вэй Ши пришел к выводу, что наилучшие результаты можно получить на примерах класса 2, так как они могут быть, с одной стороны, проаннотированы с высокой степенью достоверности (примеры класса 1 с большей вероятностью могут представлять собой так называемый шум — нерелевантные случаи), а с другой стороны, извлечены в достаточном количестве (примеров класса 3 слишком мало).

3.3 Двухязычный поиск с исключением

В работах [20, 21] на материале русско-французского параллельного корпуса был предложен еще один метод поиска имплицитных ЛСО — метод двухязычного поиска с исключением. Этот метод основан на расширении функциональных возможностей двухязычного лексико-грамматического поиска и может использоваться при работе с параллельными текстами, которые хранятся в надкорпусных базах данных, разработанных в ФИЦ ИУ РАН [22]. Двухязычный поиск (без исключения) позволяет находить лишь те пары фрагментов, где фрагмент на языке 1 содержит: (1) множество языковых единиц A , где $A = \{a_1\}$; (2) каждую из множества языковых единиц A , где $A = \{a_1, \dots, a_n\}$; (3) одну из множества языковых единиц A , где $A = \{a_1, \dots, a_n\}$; тогда как фрагмент на языке 2 содержит: (1) множество языковых единиц B , где $B = \{b_1\}$; (2) каждую из множества языковых единиц B , где $B = \{b_1, \dots, b_m\}$; (3) одну из множества языковых единиц B , где $B = \{b_1, \dots, b_m\}$. Такие пары фрагментов будут иллюстрировать некоторое заранее заданное межъязыковое соответствие «языковая единица $a \in A$ соответствует языковой единице $b \in B$ ».

Принимая во внимание тот факт, что имплицитные ЛСО по определению не выражены формальными показателями, метод двухязычного поиска (без исключения) неприменим для целенаправленного обнаружения фрагментов с имплицитными ЛСО: если необходимо найти пары фрагментов, где ЛСО имплицитно в одном из языков, то множество языковых единиц для этого языка окажется пустым; если необходимо найти пары фрагментов, где ЛСО имплицитно в обоих языках, то пустыми окажутся множества языковых единиц обоих языков.

Для решения этой проблемы был предложен метод поиска таких пар фрагментов, которые, напротив, не соответствуют известным моделям перевода выбранной языковой единицы, — двухязычный поиск с исключением. В этом случае при поиске отбираются пары фрагментов, где: (1) фрагмент на языке 1 содержит множество языковых единиц A , где $A = \{a_1\}$, причем a_1 представляет собой коннектор, используемый для выражения ЛСО₁ в языке 1; (2) фрагмент на языке 2 не содержит ни одну языковую единицу из множества B , где $B = \{b_1, \dots, b_m\}$, причем элементы множества B представляют собой коннекторы (и, возможно, языковые единицы других классов), совпадающие по значению с a_1 и используемые для выражения ЛСО₁ в языке 2. Следует отметить, что в процессе анализа выборки, полученной в результате поиска, может происходить пополнение множества B , т. е. спектра языковых единиц, соответствующих заданному коннектору a_1 по значению.

Такой метод поиска позволяет сформировать выборку, которая содержит 4 класса пар фрагментов параллельных текстов. Классы выделяются на основании того, чему соответствует эксплицитное ЛСО₁, выраженное заданным коннектором на языке 1, в тексте на языке 2. Это может быть:

- (1) имплицитное ЛСО₁;
- (2) эксплицитное ЛСО₁, выраженное нестандартными средствами;

- (3) эксплицитное ЛСО_x;
- (4) фрагмент, значение которого было изменено при переводе (так называемый шум).

Получение множества, включающего примеры класса 1, очевидным образом представляет собой основную цель использования предлагаемого вида поиска. Так, в (1) в оригинале ЛСО причины между аргументами имплицитно, а в переводе — выражено коннектором «*car*» ('потому что')¹:

- (1) [Не просите меня петь,] [я не спою уже больше так...] [И. А. Гончаров. Обломов (1848–1859)]
 [Ne me demandez pas de chanter,] **car** [je ne saurais plus chanter comme ça...]
 [Перев. L. Jurgenson (1988)]
 ' [Не просите меня петь,] **потому что** [я больше не смогу спеть так...]'

При этом добиться того, чтобы множество, включающее примеры класса 4, оказалось пустым, крайне затруднительно. Так, в (2) ЛСО причины в оригинале отсутствует (т. е. пример нерелевантен), а в переводе был добавлен фрагмент «потому что был канун праздников»:

- (2) <...> [Каифа вежливо извинился и объяснил, что сделать этого не может].
 [М. А. Булгаков. Мастер и Маргарита (1929–1940)]
 <...> [Caïphe s'excusa poliment, en expliquant qu'il ne le pouvait pas,] **car** [on était à la veille des fêtes]. [Перев. Cl. Ligny (1968)]
 <...> '[Каифа вежливо извинился, объяснив, что не может этого сделать,] **потому что** [был канун праздников]'

Что же касается множеств примеров классов 2 и 3, то они могут считаться ценным побочным результатом использования предлагаемого метода поиска, так как служат источниками нового лингвистического знания. Примеры класса 2 позволяют получить новое знание о таких средствах выражения ЛСО, которые не были описаны ранее или не учитывались при анализе ЛСО, что было отмечено в работах [17, 19]. Так, в (3) форма причастия прошедшего времени «не понимавший» в переводе передана как «потому что он не понимал». Это свидетельствует о том, что подобные причастные обороты в русском языке способны выражать ЛСО причины:

- (3) — Вы совсем другой! — жалобно сказал Захар, все **не понимавший**, что хочет сказать барин. [И. А. Гончаров. Обломов (1848–1859)]

¹Здесь и далее аргументы ЛСО заключаются в квадратные скобки. Приводимые примеры были найдены в русско-французских параллельных текстах, хранимых в надкорпусной базе данных, с использованием описываемого метода поиска с исключением: во фрагменте на французском должен был присутствовать коннектор «*car*», выражающий ЛСО причины, а во фрагменте на русском должны были отсутствовать коннекторы, выражающие это ЛСО: «потому что», «так как», «ибо», а также частица «ведь».

— Non, vous êtes tout à fait autre ! dit Zakhar d’une voix plaintive, **car il ne comprenait** toujours **pas** où le maître voulait en venir. [Перев. L. Jurgenson (1988)]

— ‘Нет, вы совсем другой! — сказал Захар жалобным голосом, **потому что он** все еще **не понимал**, к чему клонит барин’.

Примеры класса 3 позволяют получить новое знание о семантических связях между различными ЛСО [23]. Так, в (4) ЛСО переформулирования, выраженное при помощи «то есть», в переводе передано при помощи «car» («потому что»):

- (4) [Ольга в строгом смысле не была красавица,] **то есть** [не было ни белизны в ней, ни яркого колорита щек и губ] {...}. [И. А. Гончаров. Обломов (1848–1859)]

[Olga n’était pas une beauté au sens strict du terme,] **car** [elle n’avait ni une peau blanche, ni des joues vermeilles] {...}. [Перев. L. Jurgenson (1988)]

‘[Ольга не была красавицей в строгом смысле слова,] **потому что** [у нее не было ни белой кожи, ни алых щек]’.

Новое знание может быть полезно, с одной стороны, для пополнения и уточнения лингвистических описаний структуры текста, а с другой стороны, для создания средств обработки естественного языка.

4 Заключение

Из проведенного анализа следует, что, в отличие от монологических текстов, параллельные тексты могут использоваться для успешного решения задачи поиска фрагментов с имплицитными ЛСО. Рассмотренные методы поиска таких фрагментов в параллельных текстах дают возможность: (1) формировать массивы естественных примеров имплицитных ЛСО (а не синтетических, которые, как показано в [1], нередко генерировались на материале монологических текстов); (2) аннотировать эти примеры, анализируя соответствующие им эксплицитные ЛСО на другом языке; (3) извлекать новое знание о способах обеспечения связности текста и семантических связях между различными ЛСО.

Литература

1. Гончаров А. А. Методы поиска имплицитных логико-семантических отношений в монологических текстах // Системы и средства информатики, 2022. Т. 32. № 3. С. 92–102.
2. Dyvik H. A translational basis for semantics // Corpora and cross-linguistic research: Theory, method and case studies / Eds. S. Johansson, S. Okseljell. — Amsterdam/Atlanta: Rodopi, 1998. P. 51–86.
3. Ивин А. А. Философия: энциклопедический словарь. — М.: Гардарики, 2004. 1072 с.

4. *Salkie R.* How can we unpack a translation corpus? // *Contrastive linguistics and translation studies: Empirical approaches.* — Louvain-la-Neuve, 1999. P. 36–37. https://cdn.uclouvain.be/public/Exports%20reddot/cecl/documents/contrastive_symposium_papers_1999.pdf.
5. *Melamed I. D.* Empirical methods for exploiting parallel texts. — Cambridge/London: The MIT Press, 2001. 209 p.
6. *Noël D.* Translations as evidence for semantics: An illustration // *Linguistics*, 2003. Vol. 41. No. 4. P. 757–785.
7. *Cartoni B., Zufferey S., Meyer Th.* Annotating the meaning of discourse connectives by looking at their translation: The translation spotting technique // *Dialogue Discourse*, 2013. Vol. 4. No. 2. P. 65–86.
8. *Zufferey S., Degand L.* Annotating the meaning of discourse connectives in multilingual corpora // *Corpus Linguist. Ling.*, 2017. Vol. 13. No. 2. P. 399–422.
9. *Dupont M., Zufferey S.* Methodological issues in the use of directional parallel corpora. A case study of English and French concessive connectives // *Int. J. Corpus Linguis.*, 2017. Vol. 22. No. 2. P. 270–297.
10. Семантика коннекторов: контрастивное исследование / Под ред. О. Ю. Иньковой. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2018. 368 с.
11. *Meyer Th., Popescu-Belis A., Zufferey S., Cartoni B.* Multilingual annotation and disambiguation of discourse connectives for machine translation // 12th Annual Meeting of the Special Interest Group on Discourse and Dialogue Proceedings. — Portland: ACL, 2011. P. 194–203.
12. *Meyer Th., Hajlaoui N., Popescu-Belis A.* Disambiguating discourse connectives for statistical machine translation // *IEEE-ACM T. Audio Spe.*, 2015. Vol. 23. No. 7. P. 1184–1197.
13. *Yung F., Duh K., Matsumoto Y.* Crosslingual annotation and analysis of implicit discourse connectives for machine translation // 2nd Workshop on Discourse in Machine Translation Proceedings. — Lisbon: ACL, 2015. P. 142–152.
14. *Li H., Langlais Ph., Jin Y.* translating implicit discourse connectives based on crosslingual annotation and alignment // 3rd Workshop on Discourse in Machine Translation Proceedings. — Copenhagen: ACL, 2017. P. 93–98.
15. *Li J. J., Carpuat M., Nenkova A.* Cross-lingual discourse relation analysis: A corpus study and a semi-supervised classification system // 25th Conference (International) on Computational Linguistics Proceedings: Technical Papers. — Dublin, Ireland: Dublin City University and ACL, 2014. P. 577–587.
16. *Wu Ch., Shi X., Cheng Y., Huang Y., Su J.* Bilingually-constrained synthetic data for implicit discourse relation recognition // Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing Proceedings. — Austin, TX, USA: ACL, 2016. P. 2306–2312.
17. *Shi W., Yung F., Rubino R., Demberg V.* Using explicit discourse connectives in translation for implicit discourse relation classification // 8th Joint Conference (International) on Natural Language Processing Proceedings. — Taipei: Asian Federation of Natural Language Processing, 2017. Vol. 1. P. 484–495.
18. *Shi W., Yung F., Demberg V.* acquiring annotated data with cross-lingual explicitation for implicit discourse relation classification // Workshop on Discourse Relation Parsing and Treebanking Proceedings. — Minneapolis, MN, USA: ACL, 2019. P. 12–21.

19. *Shi W.* Addressing the data bottleneck in implicit discourse relation classification: PhD Thesis. — Saarbrücken: Saarländische Universitäts- und Landesbibliothek, 2020. 162 p.
20. *Гончаров А. А., Инькова О. Ю.* Методика поиска имплицитных логико-семантических отношений в тексте // Информатика и её применения, 2019. Т. 13. Вып. 3. С. 97–104.
21. *Гончаров А. А., Инькова О. Ю.* Имплицитные логико-семантические отношения и метод их поиска в параллельных текстах // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: по мат-лам ежегодной Междунар. конф. «Диалог». — М.: РГГУ, 2020. Вып. 19(26). С. 310–320.
22. *Кружков М. Г.* Концепция построения надкорпусных баз данных // Системы и средства информатики, 2021. Т. 31. № 3. С. 101–112.
23. *Гончаров А. А.* Взаимодействие логико-семантического отношения причины с другими отношениями: опыт описания на основе контрастивного анализа показателей // Причинные конструкции в языках мира (синхрония, диахрония, типология): мат-лы Междунар. конф. / Сост. Н. М. Заика. — СПб.: ИЛИ РАН, 2020. С. 84–87.

Поступила в редакцию 15.09.22

METHODS FOR RETRIEVAL OF IMPLICIT LOGICAL-SEMANTIC RELATIONS FROM PARALLEL TEXTS

A. A. Goncharov

Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation

Abstract: The paper focuses on the problem of targeted retrieval of fragments with implicit logical-semantic relations (LSRs) from parallel texts. In order to answer the question whether such retrieval is possible, the author considers the potential of parallel text as a source of new linguistic knowledge and reviews the works that report results of implicit LSRs studies. The aim of the survey is to identify the methods used to create arrays of text fragments with implicit LSRs. It is revealed that parallel texts offer extensive opportunities for retrieval of such fragments, owing to the fact that an explicit LSR in language *A* may signal an implicit LSR in language *B* (that is called a bilingual explicit/implicit mismatch). The following methods have been successfully applied for detection of such mismatches: (i) discourse parsing; (ii) reverse machine translation; and (iii) bilingual exclusion search. Therefore, it can be argued that parallel texts — unlike the monolingual ones — can solve the task of targeted retrieval of fragments with implicit LSRs.

Keywords: implicitness; implicit logical-semantic relations; targeted retrieval; natural language processing; knowledge extraction from texts; parallel texts

DOI: 10.14357/08696527220404

Acknowledgments

The research was carried out using the infrastructure of the Shared Research Facilities “High Performance Computing and Big Data” (CKP “Informatics”) of FRC CSC RAS (Moscow).

References

1. Goncharov, A. A. 2022. Metody poiska implitsitnykh logiko-semanticheskikh otnosheniy v monoyazychnykh tekstakh [Methods for retrieval of implicit logical-semantic relations from monolingual texts]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 32(3):92–102.
2. Dyvik, H. 1998. A translational basis for semantics. *Corpora and cross-linguistic research: Theory, method and case studies*. Eds. S. Johansson and S. Okseljel. Amsterdam/Atlanta: Rodopi. 51–86.
3. Ivin, A. A. 2004. *Filosofiya: entsiklopedicheskiy slovar'* [Philosophy: Encyclopedic dictionary]. Moscow: Gardariki. 1072 p.
4. Salkie, R. 1999. How can we unpack a translation corpus? *Contrastive linguistics and translation studies: Empirical approaches*. Louvain-la-Neuve. 36–37. Available at: https://cdn.uclouvain.be/public/Exports%20reddot/cecl/documents/contrastive_symposium_papers_1999.pdf (accessed October 4, 2022).
5. Melamed, I. D. 2001. *Empirical methods for exploiting parallel texts*. Cambridge/London: The MIT Press. 209 p.
6. Noël, D. 2003. Translations as evidence for semantics: An illustration. *Linguistics* 41(4):757–785.
7. Cartoni, B., S. Zufferey, and Th. Meyer. 2013. Annotating the meaning of discourse connectives by looking at their translation: The translation spotting technique. *Dialogue Discourse* 4(2):65–86.
8. Zufferey, S., and L. Degand. 2017. Annotating the meaning of discourse connectives in multilingual corpora. *Corpus Linguist. Ling.* 13(2):399–422.
9. Dupont, M., and S. Zufferey. 2017. Methodological issues in the use of directional parallel corpora. A case study of English and French concessive connectives. *Int. J. Corpus Linguist.* 22(2):270–297.
10. Inkova, O. Yu., ed. 2018. *Semantika konnektorov: kontrastivnoe issledovanie* [Semantics of connectives: A contrastive study]. Moscow: TORUS PRESS. 368 p.
11. Meyer, Th., A. Popescu-Belis, S. Zufferey, and B. Cartoni. 2011. Multilingual annotation and disambiguation of discourse connectives for machine translation. *12th Annual Meeting of the Special Interest Group on Discourse and Dialogue Proceedings*. Portland: ACL. 194–203.
12. Meyer, Th., N. Hajlaoui, and A. Popescu-Belis. 2015. Disambiguating discourse connectives for statistical machine translation. *IEEE-ACM T. Audio Spe.* 23(7):1184–1197.
13. Yung, F., K. Duh, and Y. Matsumoto. 2015. Crosslingual annotation and analysis of implicit discourse connectives for machine translation. *2nd Workshop on Discourse in Machine Translation Proceedings*. Lisbon: ACL. 142–152.

14. Li, H., Ph. Langlais, and Y. Jin. 2017. Translating implicit discourse connectives based on crosslingual annotation and alignment. *3rd Workshop on Discourse in Machine Translation Proceedings*. Copenhagen: ACL. 93–98.
15. Li, J. J., M. Carpuat, and A. Nenkova. 2014. Cross-lingual discourse relation analysis: A corpus study and a semi-supervised classification system. *25th Conference (International) on Computational Linguistics Proceedings*. Dublin, Ireland: Dublin City University and ACL. 577–587.
16. Wu, Ch., X. Shi, Y. Cheng, Y. Huang, and J. Su. 2016. Bilingually-constrained synthetic data for implicit discourse relation recognition. *Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing Proceedings*. Austin, TX: ACL. 2306–2312.
17. Shi, W., F. Yung, R. Rubino, and V. Demberg. 2017. Using explicit discourse connectives in translation for implicit discourse relation classification. *8th Joint Conference (International) on Natural Language Processing Proceedings*. Taipei: Asian Federation of Natural Language Processing. 1:484–495.
18. Shi, W., F. Yung, and V. Demberg. 2019. Acquiring annotated data with cross-lingual explicitation for implicit discourse relation classification. *Workshop on Discourse Relation Parsing and Treebanking Proceedings*. Minneapolis, MN: ACL. 12–21.
19. Shi, W. 2020. Addressing the data bottleneck in implicit discourse relation classification. Saarbrücken: Saarländische Universitäts- und Landesbibliothek. PhD Thesis. 162 p.
20. Goncharov, A. A., and O. Yu. Inkova. 2019. Metodika poiska implitsitnykh logiko-semanticheskikh otnosheniy v tekste [Methods for identification of implicit logical-semantic relations in texts]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 13(3):97–104.
21. Goncharov, A. A., and O. Yu. Inkova. 2020. Implitsitnye logiko-semanticheskie otnosheniya i metod ikh poiska v parallel'nykh tekstakh [Implicit logical-semantic relations and a method of their identification in parallel texts]. *Computational Linguistics and Intellectual Technologies: Papers from the Annual Conference (International) "Dialogue."* Moscow: RSHI. 19(26):310–320.
22. Kruzhkov, M. G. 2021. Kontseptsiya postroeniya nadkorpusnykh baz dannykh [Conceptual framework for supracorpora databases]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 31(3):101–112.
23. Goncharov, A. A. 2020. Vzaimodeystvie logiko-semanticheskogo otnosheniya prichiny s drugimi otnosheniyami: opyt opisaniya na osnove kontrastivnogo analiza pokazateley [Interaction of the causal logical-semantic relation with other relations: An attempt of description based on the contrastive analysis of markers]. *Conference (International) "Causal Constructions in the World's Languages (Synchrony, Diachrony, Typology)" Proceedings*. St. Petersburg: ILI RAS. 84–87.

Received September 15, 2022

Contributor

Goncharov Alexander A. (b. 1994) — scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; a.gonch48@gmail.com

АНАЛИТИКА ЗАШУМЛЕННЫХ ТЕКСТОВ

М. П. Кривенко¹

Аннотация: Работа посвящена обзору методов интерпретации искаженных текстовых данных с целью получения из них значимой информации. Аналитика позволяет выделить полезные понятия, сделать выводы из собранных данных, сформировать прогнозы. Предполагается, что обрабатываемые тексты могут не отвечать модели выбранного эталонного языка. Подобные отклонения могут быть вызваны ошибками измерений и фиксации, оказаться следствием воздействия случайных или непредусмотренных факторов, возникнуть как следствие неправильного выбора или настройки модели. В статье перечислены виды искажений. Рассмотрены области применения методов интеллектуальной обработки текстов: научные публикации; общение в блогах; электронная почта; социальные медиа; речевые сообщения; веб-аналитика. Указаны ориентированные на обработку зашумленных текстов методы. Сформулированы перспективные направления дальнейших исследований: уточнение понятий «зашумленности» и «искажения» текстов, выработка способов измерения степени аномальности текста, систематизация аналитических задач обработки текстов, формирование критериев эффективности методов интеллектуального анализа текста для облегчения выбора подходящих технологий.

Ключевые слова: интеллектуальная обработка текста; зашумленный текст; искаженный текст; аналитика; обзор

DOI: 10.14357/08696527220405

1 Введение

Функции и условия использования языка дают его определенный вариант, предопределяют содержание понятий «известное»–«сложившееся»–«типовое», задают соответствующие стандарты (нормы).

Далее объектом обработки будут текстовые сообщения (тексты) на некотором известном языке. Он может быть загрязнен в том смысле, что сформирован с нарушением норм языка. В частности, отдельные фрагменты текста искажены на уровне лексики и в них подмешан шум в виде дополнительных ненормативных (отличающихся от стандарта языка) слов. Для подобных текстов будем использовать синонимичные понятия «зашумленные», а также «искаженные» или «загрязненные» (в англоязычной литературе для этого чаще всего употребляют термин *noisy*, хотя встречается и эпитет *dirty*).

Аналитика зашумленного текста — автоматизированное извлечение структурированной или частично структурированной информации из зашумленных

¹Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, mkrivenko@ipiran.ru

неструктурированных текстовых данных. Зашумленные текстовые данные порождаются в большом объеме многочисленными, часто неофициальными источниками, такими как онлайн-чат, текстовые сообщения, электронная почта, доски объявлений, группы новостей, блоги, вики- и веб-страницы. Кроме того, практически всегда содержат искажения тексты, полученные путем обработки спонтанной речи с использованием автоматических приемов распознавания, а также документы с использованием оптического распознавания печатных и/или рукописных символов. Текст, созданный при таких обстоятельствах, обычно содержит орфографические ошибки, сокращения, нестандартные слова, повторы, пропущенные знаки препинания, ошибки указания регистра букв, заполняющие паузу слова, а также другие текстовые и речевые нарушения. Документы с включением специализированных терминов, жаргона, с использованием исторически сложившихся языков также можно считать искаженными с учетом сегодняшних знаний о языке. Разнообразие природы и состава искажений требует выхода за рамки традиционных методов анализа текста.

2 Источники и типы искажения

В случае печатных документов в первую очередь речь идет об обширных бумажных хранилищах, которые необходимо обработать с помощью оптического распознавания символов. Полученный таким образом текст обычно оказывается сильно зашумленным в зависимости от используемого языка, размера шрифта, качества печати и т. д. Уровень ошибок может варьировать от единиц до десятков процентов.

Наличие на веб-страницах, вики-страницах, форумах, в онлайн-чатах, блогах и группах новостей плохо написанного текста в порядке вещей. Большинство этих данных не структурированы, и стиль их написания существенно отличается от канонов языка, официальных документов или новостных статей. При этом источник веб-данных может быть крайне информативен именно из-за этих отклонений от нормы. Большой объем подобных данных приводит к необходимости искать эффективные методы извлечения информации, классификации, автоматического обобщения и анализа этих данных.

Контактные центры — общий термин для справочных служб, информационных линий и центров обслуживания клиентов, работающих в различных областях. Они функционируют в различных режимах, таких как голосовой, онлайн-чат или электронная почта. Индустрия контакт-центров производит гигабайты данных в форме сообщений электронной почты, журналов чатов, голосовых переговоров, отзывов клиентов и т. д. Большая часть данных контакт-центра — речевые сообщения. Их транскрибирование с использованием современного автоматического распознавания речи дает текст с 30%–40% ошибочных слов. Кроме того, даже письменные формы общения, такие как онлайн-чат между участниками или результаты взаимодействия по электронной почте, как правило, оказываются искаженными. Обработка данных контакт-центра необходима для

анализа запросов клиентов, моделирования звонков, профилирования клиентов и т. д., и она требует сложных методов обработки ненормативного текста.

Использование языка в компьютерных беседах, лайк-чатах, электронных письмах и текстах SMS значительно отличается от стандартной формы языка. Сокращение длины сообщения и обеспечение более быстрого набора текста при потребности в семантической ясности формирует структуру этой нестандартной формы, известной как язык текстовых сообщений.

Методы интеллектуального анализа текста включают категоризацию текста, обобщение, обнаружение темы, извлечение концепций, поиск документов и т. д. Каждый из этих методов может использоваться для поиска нетривиальной информации в наборе документов. Интеллектуальный анализ текста также может использоваться для обнаружения основной темы, которая полезна при создании таксономии из коллекции документов.

Поскольку все большее число прикладных систем выделения смысла (формирование онтологий) становится доступным для различных источников, необходимость обработки загрязненных текстов становится неизбежной. При этом качество онтологии и правильное функционирование систем в большой степени зависят от чистоты входных текстов. Большинство существующих методов исправления орфографических ошибок, расширения сокращений, восстановления падежей и т. п. изучаются раздельно, но приходится признать, что многие искажения в текстах имеют составной характер.

Подводя итог, можно выделить следующие наиболее распространенные типы искажения текстов: добавление заполнителей (звуков, междометий и т. п.); добавление знаков; добавление известных/новых слов; замена фонем/знаков; использование диалектов/сленга; использование неграмматических форм; пропуск слов; пропуск/отсутствие знаков препинания; пропуск/отсутствие информации о регистре; пропуск/удаление знаков; смешение различных написаний одного и того же слова; смешение языков; сокращения отдельных слов/наборов слов.

3 Области применения и методы

Научные публикации — ценный ресурс для исследователей, однако экспоненциальный рост их числа создает серьезные проблемы. Несмотря на то что подготовка соответствующих текстов обычно регламентируется и контролируется, в итоге полностью освободиться от искажений не получается: часто встречаются опечатки, различные написания одного и того же слова, использование жаргона и неочевидных синонимов, нестандартные сокращения, смешение языков и стилей изложения и т. п. С другой стороны, анализ источников — это важный компонент практически любого исследовательского проекта. Интеллектуальный анализ текста улучшает обзор литературы, может идентифицировать, группировать и классифицировать ключевые темы предметной области, а также выявлять повторяемость и популярность тем в течение определенного периода времени.

Поэтому так востребованы методы нейтрализации шума, которые в настоящее время реализуются с помощью стандартных средств обработки тестов.

Общение в блогах. Блоги могут принадлежать к широкому спектру жанров — от личных дневников до корпоративных бизнес-журналов; при этом они, как правило, связаны с субъективными и спонтанными формами письма. Исследователи могут использовать блоги как источник информации для различных целей: выполнения контент-анализа, связанного с гендерным и языковым использованием, с определением этнографического участия в блог-сообществах, а также выявления сведений об опыте, восприятии и мнениях авторов [1, 2]. Важное место занимает задача фильтрации блогов на предмет выявления спама, инцидентов безопасности, поиска новых тем относительно киберугроз. Особую роль могут приобретать блоги групп населения, находящихся за пределами физической досягаемости.

Из-за большого числа и разнообразия существующих постов в блогосфере их контент может показаться случайным и хаотичным [3], вследствие чего востребованными становятся не только отдельные методы интеллектуальной обработки текстов, но и методологические вопросы изучения блогов. Примером попытки предложить соответствующее практическое руководство может служить [4].

Помимо текстового контента блоги содержат служебную информацию, в частности сведения о названии и авторе блога, дате и времени публикации, а также тегах или атрибутах категорий. Подобно другим данным социальных сетей, содержание блога изменяется со временем. Выявление и понимание тем блогосферы, которые находятся в тренде, могут предоставить достоверную информацию об изменениях политических взглядов и социальных сдвигах, о динамике рынков продаж [5, 6].

Загрязненный по своей природе характер сообщений в блогах приводит к необходимости использования моделей текстов общего характера, например латентного размещения Дирихле (LDA — Latent Dirichlet Allocation), применения устойчивых методов анализа, например латентного семантического анализа (LSA — Latent Semantic Analysis) и кластеризации. Ряд исследований был посвящен соответствующим методам интеллектуального анализа текста и общим приемам уменьшения размерности [7]. Однако реально из-за сложности объекта анализа возникают существенные ограничения: например, в [8] предложен многомерный подход к интеллектуальному анализу блогов путем объединения их содержимого и тегов, однако он может быть применен только к текстовым блогам. Более того, существующие решения преимущественно способны обрабатывать ограниченный перечень сведений, они статичны (неизменны) по своей природе и обычно не масштабируются точно из-за их высокой сложности. И самое главное — такие решения прежде всего разработаны для конкретной цели и фиксированного набора обучающих данных, чего недостаточно для больших объемов потоковых данных.

Электронная почта стала удобным и распространенным средством общения, включающим текстовые сообщения. Оно также неразрывно связано с процедурой

работы в интернете, поскольку учетная запись электронной почты необходима для регистрации любой формы онлайн-активности, в том числе для создания учетных записей для платформ социальных сетей и обмена мгновенными сообщениями.

Интеллектуальный анализ электронной почты схож с интеллектуальным анализом текста, однако специфика может возникнуть из-за высокой зашумленности данных: наряду с обычным текстом встречаются специальные символы и слова, комментарии, подписи, цитаты, программные коды, присутствуют или отсутствуют дополнительные разрывы строк, пробелы. Поэтому перед интеллектуальной обработкой тексты писем должны быть очищены [9]. Кроме того, электронная переписка представляет собой поток данных, подчас ориентированный на конкретного пользователя, при нарушении этого он может стать неоднородным (например, из-за разных стилей пишущих авторов). При этом концепции или распределение целевой аудитории сообщений могут меняться с течением времени по отношению к получаемым сообщениям. Наконец, из-за проблем конфиденциальности оказалось проблематичным получать общедоступные данные электронной почты для экспериментов. Правда, начиная с [10] с появлением корпусов CSspace и Enron, а позже набора данных Ling-Spam положение изменилось в лучшую сторону.

Еще одна проблема состоит в том, что скрытая информация в почте подчас не может быть извлечена или визуализирована из-за отсутствия масштабируемых инструментов визуализации [11].

С постановкой отдельных задач интеллектуального анализа электронной почты можно познакомиться в [12]. Кроме того, некоторые важные приложения интеллектуального анализа электронной почты включают в себя такие задачи, как фильтрация электронных писем на основе приоритета, выявление спама и фишинговых писем, а также автоматическое формирование ответа, обобщение потоков, анализ контактов, визуализация электронной почты.

В [13] отражен результат опроса по анализу электронной почты. Как итог были выявлены 5 задач интеллектуального анализа электронной почты: обнаружение спама; категоризация электронной почты; анализ контактов; анализ свойств сети электронной почты; визуализация электронной почты. Кроме того, для каждой задачи обсуждались часто используемые методы решения перечисленных задач.

В [14] всесторонне рассмотрены 98 статей, опубликованных в период с 2006 по 2016 гг. по классификации электронной почты из баз данных основных коллекций Web of Science и базы данных Scopus. В этом исследовании анализ методологических решений проводился по следующим 5 аспектам: области применения классификации; наборы данных по областям применения; состав признаков по областям применения; методы классификации; используемые показатели эффективности.

Одной из процветающих областей интеллектуального анализа данных стало изучение настроений в текстовых онлайн-документах как личного характера,

так и делового. В исследовании [15] предлагалось использовать для самооценки пользователей методы оценки настроений в личных архивах электронной почты. Была создана и представлена в публикации система интеллектуального анализа электронной почты Muse, которая помогала пользователям анализировать, добывать и визуализировать свои собственные долгосрочные архивы электронной почты.

Одной из наиболее значительных угроз в бизнес-шпионаже стала инсайдерская. В [16] внимание сосредоточено на обнаружении инсайдерских угроз путем анализа электронных писем, чтобы выяснить, соответствует ли сотрудник определенным личностным критериям, и вывести уровень риска для каждого сотрудника. Авторы [17] обратились к аспектному анализу настроений, который может предоставить более подробную информацию о сотрудниках.

Продолжающийся рост числа пользователей электронной почты привел к массовому увеличению доли спам-писем. Большой объем спама, проходящего через компьютерные сети, повышает требования к доступному для почтовых серверов пространству памяти, снижает пропускную способность связи и мощность процессора, напрасно тратит время пользователя. При этом если учесть, что большинство кибератак начинается с фишингового письма [18] на аккаунты, то очевидно, что с высокой долей риска фишинг оказывается направлением атаки для бизнеса и государственных учреждений. Поэтому преобладающей проблемой в процессе интеллектуального анализа электронной почты становится выявление и изоляция спам-писем.

В [19] представлен обзор используемых методов фильтрации спама на основе контента, а проблемы зашумленности предложено искать через формирование соответствующих корпусов текстов. Авторы [20] изучили применение методов машинного обучения в процессе фильтрации спама электронной почты ведущих интернет-провайдеров и сосредоточились на пересмотре используемых для фильтрации спама методов машинного обучения, включая проблематику обработки зашумленных сообщений.

Социальные медиа служат идеальной платформой для передачи взглядов и мнений на любую тему таким образом, чтобы в итоге повлиять на решения и действия общественности. Они начали привлекать исследователей из различных областей, включая социологию, маркетинг, финансы и компьютеризацию [21]. В первую очередь речь идет о Twitter и Facebook, примерами других платформ могут быть TripAdvisor, Yelp, Zomato.

Существующая литература по интеллектуальному анализу текста в социальных сетях преимущественно обсуждает вариант английского языка, поскольку большинство доступных пакетов обработки были разработаны для соответствующих пользователей. Тем не менее отдельные изыскания касались китайских социальных сетей. Достаточно редко встречаются исследования для арабского языка, причиной тому его своеобразные характеристики: неоднозначное использование гласных и долгот, морфологическое многообразие, богатая синонимич-

ность, свободный порядок слов, необязательность пунктуации, большое число диалектов и т. д. Конкретные варианты аналитики в различных сетях и языковые проблемы отражены в [7, 22].

Обработка сообщений социальных сетей существенно затруднена по ряду причин: зависимость содержания от языка и страны общения; своеобразие стиля изложения для групп пользователей; краткость и контекстная насыщенность сообщения; искаженность самих текстов. Для нормализации искаженного текста сообщений применяется гибридный метод, сочетающий машинное обучение с заданными правилами [23].

Речевые сообщения. В первую очередь это стенограммы публичных выступлений, словесных комментариев и т. п. Более общим случаем являются результаты предварительной обработки произнесенных слов с помощью процедур распознавания речи. Примером всестороннего освещения вопросов интеллектуального анализа текста в интересах центральных банков применительно к наборам стенограмм заседаний может служить [24]. Здесь благодаря методам интеллектуального анализа становится доступным ряд источников данных, которые имеют значение для оценки денежно-кредитной и финансовой стабильности и не могут быть количественно проанализированы другими средствами. Документом может быть конкретная речь, сообщение или отчет персонала, комментарий или реплика в ходе обсуждения конкретного вопроса.

Для устранения «шума» в представлениях текста и уточнения содержания документов используются стандартные методы, в частности унификация регистра, использование стоп-словарей, сжатие представления слов (стемминг и лемматизация). Примером используемой очистки совокупности документов при формировании корпуса текстов служит исключение дублирования (см., например, [25]). Устойчивость результатам содержательной обработки текстов придают LSA, LDA и нисходящая иерархическая классификация, позволяющие строить специфические кластеры документов для определенного корпуса, не утверждая, что они сохраняются в других ситуациях (например, для других диалектов). Основное достоинство этих методов в том, что они анализируют все слова исходного текста и тем самым создают предпосылки для формирования содержательных выводов.

Для интеллектуального анализа текста вообще и применительно к речевым источникам в частности важны два подхода: классификация мнений и оценка тональности [26]. Интересные самостоятельно, они могут стать основой для постановки и решения задач прогнозирования мнений или системы убеждений [27, 28], для извлечения фактов и аргументации [29].

Нейтрализация загрязненности исходных обрабатываемых текстов реализуется, как правило, на первых шагах обработки, заключающихся в очистке исходных данных и уменьшении шума. Немаловажную роль играет последующий этап подбора правильной модели и привлечение неконтролируемых методов обучения. При этом возрастает роль формирования адекватных предметной области совокупностей текстов, используемых в качестве базы для исследования языка.

Это фактически становится средством очистки реальных текстов, искаженных с точки зрения некоторого гипотетического эталонного языка.

Ключевая проблема в распознавании речи заключается в том, что стенограммы выступлений в реальных условиях получаются в плохих акустических условиях и для спонтанной речи [30]. Записям колл-центров и телефонных опросов также характерна непринужденность речи, они имеют низкое качество звука из-за использования сотовых телефонов и/или окружающего шума, содержат переменную длины высказывания и различные искажения (паузы, повторы, исправления). Предложения по стратегии обработки подобных сложных корпусов текстов можно найти, например, в [31].

Стенограммы встреч в большинстве случаев порождают настолько объемные документы, что делают чтение и анализ уже множества стенограмм практически невозможными. В связи с этим большое распространение приобрел подход, с помощью которого осуществляется автоматическое извлечение ключевых слов и фраз с их последующим использованием вместо самих стенограмм [32]. Сложности при этом связаны с появлением синонимов, проявлением полисемии и омонимии, с необходимостью учитывать гипонимию (наличие родовидовых отношений) и смысловое группирование. Перечисленные лингвистические факторы обычно характерны для используемого языка, но пока реально не учитываются как привнесенные за счет зашумления текста. Дополнительным мешающим моментом становится то, что способ написания стенограмм варьируется с точки зрения их стиля и деталей по сравнению со стилем письменного текста [33]. Некоторые дополнительные детали обработки стенограмм можно найти в [7].

Веб-аналитика. Интернет в настоящее время стал популярным интерактивным средством распространения информации. Наиболее часто востребованным типом информации на веб-сайтах являются текстовые данные, такие как научные публикации, новостные статьи, реклама, электронные письма, блоги, сообщения социальных сетей. Доступ к ним оказывается сложной задачей из-за огромного объема сведений и наличия шума [34]. При этом интеллектуальный анализ данных нацелен как на автоматическое обнаружение и извлечение знаний на веб-сайтах, так и на рассмотрение поведения и предпочтений пользователей.

Интеллектуальный анализ использования интернета (WUM — Web Usage Mining), интеллектуальный анализ веб-структур (WSM — Web Structure Mining) и интеллектуальный анализ веб-контента (WCM — Web Content Mining) стали тремя преобладающими категориями аналитической веб-обработки: WCM и WSM используют первичные веб-данные, в то время как WUM добывает вторичные.

Если WCM преимущественно фокусируется на исследованиях содержимого страниц, то WSM в основном работает со ссылками и их структурой. Кроме того, WSM может использоваться для категоризации веб-страниц и полезен для сбора информации, например относящейся к сходствам и отношениям между различными веб-сайтами, а WUM — для обнаружения шаблонов использования веб-сайтов, в частности при проведении поведенческого анализа пользователя сайта.

В эпоху динамичной электронной и мобильной коммерции финансовые транзакции, ежедневно проводимые онлайн, огромны по числу, что создает потенциал для мошеннической деятельности. Распространенной формой такой деятельности стал фишинг сайта, который включает в себя создание копии надежного веб-сайта для обмана пользователей и незаконного получения их учетных данных.

Феномены фишинга, выявление которых в основном было сосредоточено на веб-методах, а не на анализе электронной почты, были подробно обсуждены в [35]. Сделан важный вывод о том, что точность обнаружения может значительно снизиться с течением времени. Поэтому успешная модель обнаружения фишинга должна быть адаптивной, перестраивающейся в ответ на изменяющуюся среду. Фактически это означает, что аналитическая обработка должна строиться в предположении наличия искажений и при обязательной постоянной коррекции модели данных, допускающей наличие искажений.

4 Заключение

В реальной жизни шум — неизбежный фактор информационного обмена и обработки. Шум может проявляться в форме ошибок, возникающих из-за неопределенности языка, и ошибок общения и распознавания. Его можно смоделировать явно, хотя модели шума построить сложно. При этом существуют несколько эвристик для моделирования различных типов шума.

Большинство систем обработки текста построено в предположении его чистоты и основано на модели некоторого эталонного, сложившегося понятийного содержания и типового написания. Чтобы справиться с шумом, необходимо либо применять надежные (робастные) аналитические методы, либо устранять шум или хотя бы снижать его уровень.

К перспективным направлениям дальнейших исследований можно отнести:

- уточнение понятий «зашумленности» и «искажения» текстов, систематизацию отклонений от нормы, выработку способов измерения степени аномальности текста, изучение влияния различных типов шума на автоматическую классификацию текстов;
- систематизацию задач обработки текстов и выделение среди них актуальных для различных предметных областей;
- формирование набора критериев для оценки эффективности методов интеллектуального анализа текста для облегчения выбора подходящих технологий.

Надо понимать, что зашумленные тексты — это не только помеха. Подчас они могут порождать свежие аналитические задачи на основе вновь открывшейся информации. Большое число работ и их разноплановость свидетельствуют о бурном развитии интеллектуальной обработки текстов, служащей базой для продвижения науки, позволяющей дать обществу дополнительную информацию и помочь оценить социальные проблемы.

Литература

1. *Hookway N.* «Entering the blogosphere»: Some strategies for using blogs in social research // *Qual. Res.*, 2008. Vol. 8. Iss. 1. P. 91–113.
2. *Wilson E., Kenny A., Dickson-Swift V.* Using blogs as a qualitative health research tool: A scoping review // *Int. J. Qual. Meth.*, 2015. Vol. 14. No. 5. P. 1–12.
3. *Tsai F. S., Chen Y., Chan K. L.* Probabilistic techniques for corporate blog mining // *Emerging technologies in knowledge discovery and data mining. — Lecture notes in computer science ser.* — Berlin, Germany: Springer, 2007. Vol. 4819. P. 35–44.
4. *Webb L. M., Wang Y.* Techniques for analyzing blogs and micro-blogs // *Advancing research methods with new technologies.* — Hershey, PA, USA: IGI Global, 2013. P. 206–227.
5. *Kumar S., Zafarani R., Abbasi M., Barbier G., Liu H.* Convergence of influential bloggers for topic discovery in the blogosphere // *Advances in social computing / Eds. S. K. Chai, J. J. Salerno, P. L. Mabry.* — Lecture notes in computer science ser. — Berlin, Germany: Springer, 2010. Vol. 6007. P. 406–412.
6. *Barbier G., Liu H.* Data mining in social media // *Social network data analytics.* — Boston, MA, USA: Springer, 2011. P. 327–352.
7. *Hassani H., Beneki C., Unger S., Mazinani M. T., Yeganegi M. R.* Text mining in big data analytics // *Big Data Cognitive Computing*, 2020. Vol. 4. No. 1. P. 1–34.
8. *Seep K. S., Patil N.* A multidimensional approach to blog mining // *Progress in intelligent computing techniques: Theory, practice, and applications / Eds. P. Sa, M. Sahoo, M. Murugappan, Y. Wu, B. Majhi.* — Advances in intelligent systems and computing ser. — Singapore: Springer, 2018. Vol. 719. P. 51–58.
9. *Palmer D. D.* Text preprocessing // *Handbook of natural language processing.* — 2nd ed. — London, U.K.: Chapman & Hall/CRC, 2010. P. 9–30.
10. *Minkov E., Wang R. C., Cohe W. W.* Extracting personal names from emails: Applying named entity recognition to informal text // *Conference on Human Language Technology and Empirical Methods in Natural Language Processing Proceedings.* — Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics, 2005. P. 443–450.
11. *Wani M. A., Jabin S.* Big data: Issues, challenges, and techniques in business intelligence // *Big data analytics / Eds. V. Aggarwal, V. Bhatnagar, D. Mishra.* — Advances in intelligent systems and computing ser. — Singapore: Springer, 2018. Vol. 654. P. 613–628.
12. *Weerkamp W., Balog K., De Rijke M.* Using contextual information to improve search in email archives // *31st European Conference on IR Research on Advances in Information Retrieval Proceedings.* — Berlin, Germany: Springer, 2009. P. 400–411.
13. *Tang G., Pei J., Luk W. S.* Email mining: Tasks, common techniques, and tools // *Knowl. Inf. Syst.*, 2014. Vol. 41. P. 1–31.
14. *Mujtaba G., Shuib L., Raj R. G., Majeed N., Al-Garadi M. A.* Email classification research trends: Review and open issues // *IEEE Access*, 2017. Vol. 5. P. 9044–9064.
15. *Hangal S., Lam M. S., Heer J.* MUSE: Reviving memories using email archives // *24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology Proceedings.* — New York, NY, USA: ACM, 2011. P. 75–84.
16. *Chi H., Scarllet C., Prodanoff Z. G., Hubbard D.* Determining predisposition to insider threat activities by using text analysis // *Future Technologies Conference Proceedings.* — Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2016. P. 985–990.

17. *Soh C., Yu S., Narayanan A., Duraisamy S., Chen L.* Employee profiling via aspect-based sentiment and network for insider threats detection // *Expert Syst. Appl.*, 2019. Vol. 135. P. 351–361.
18. Techniques for dealing with ransomware, business email compromise and spearphishing. — Washington, DC, USA: Osterman Research, Inc., 2017. An Osterman research white paper. 16 p. <https://4b0e0ccff07a2960f53e-707fda739cd414d8753e03d02c531a72.ssl.cf5.rackcdn.com/wp-content/>.
19. *Bhowmick A., Hazarika S.M.* Machine learning for e-mail spam filtering: Review, techniques and trends. https://www.researchgate.net/publication/303812063-Machine_Learning_for_E-mail_Spam_Filtering_Review_Techniques_and_Trends.
20. *Dada E.G., Bassi J.S., Chiroma H., Abdulhamid S.M., Adetunmbi A.O., Ajibuwa O.E.* Machine learning for email spam filtering: Review, approaches and open research problems // *Heliyon*, 2019. Vol. 5. P. 1–23.
21. *Pang B., Lee L.* A sentimental education: Sentiment analysis using subjectivity summarization based on minimum cuts // 42nd Meeting of the Association for Computational Linguistics Proceedings. — Stroudsburg, PA, USA: Association for Computational Linguistics, 2004. P. 271–278.
22. *Salloum S.A., Al-Emran M., Monem A.A., Shaalan K.* A survey of text mining in social media: Facebook and Twitter perspectives // *ASTESJ*, 2017. Vol. 2. No. 1. P. 127–133.
23. *Akhtar M.S., Sikdar U.K., Ekba A.* Hybrid approach for text normalization in Twitter // *ACL Workshop on Noisy User-generated Text Proceedings*. — Beijing, China, 2015. P. 106–110.
24. *Bholat D., Hansen S., Santos P., Schonhardt-Bailey C.* Text mining for central banks. — London, U.K.: Bank of England, 2015. Handbook No. 33. 29 p.
25. *Eckley P.* Measuring economic uncertainty using news-media textual data. — Munich, Germany: MPRA, 2015. Paper No. 64874. 76 p. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/69784/>.
26. *Pang B., Lee L.* Opinion mining and sentiment analysis // *Found. Trends Inf. Ret.*, 2008. Vol. 2. No. 1–2. P. 1–135.
27. *Klebanov B.B., Diermeier D., Beigman E.* Lexical cohesion analysis of political speech // *Polit. Anal.*, 2008. Vol. 16. Iss. 4. P. 447–463.
28. *Acharya A., Crawford N., Maduabum M.* A nation divided: Classifying presidential speeches. — Stanford, CA, USA: Stanford University, 2016. 6 p.
29. *Sardianos C., Katakis I.M., Petasis G., Karkaletsis V.* Argument extraction from news // 2nd Workshop on Argumentation Mining Proceedings. — Denver, CO, USA, 2015. P. 56–66.
30. *Fiscus J.G., Ajot J., Garofolo J.S.* The Rich Transcription 2007 Meeting Recognition Evaluation // *Multimodal technologies for perception of humans* / Eds. R. Stiefelhagen, R. Bowers, J. Fiscus. — Lecture notes in computer science ser. — Berlin, Germany: Springer, 2008. Vol. 4625. P. 373–389.
31. *Camelin N., Béchet F., Dammati G., De Mori R.* Speech mining in noisy audio message corpus // 8th Annual Conference of the International Speech Communication Association Proceedings. — Antwerp, Belgium, 2007. P. 2401–2404.
32. *Sheeba J., Vivekanan K.* Improved keyword and keyphrase extraction from meeting transcripts // *Int. J. Computer Appl.*, 2012. Vol. 52. No. 13. P. 11–15.

33. *Liu F., Liu F., Liu Y.* Supervised framework for keyword extraction from meeting transcripts // *IEEE T. Audio Speech*, 2011. Vol. 19. No. 3. P. 538–548.
34. *Waldherr A., Maier D., Miltner P., Günther E.* Big data, big noise: The challenge of finding issue networks on the Web // *Soc. Sci. Comput. Rev.*, 2017. Vol. 35. No. 4. P. 427–443.
35. *Mohammad R. M., Thabtah F., McCluskey L.* Tutorial and critical analysis of phishing websites methods // *Computer Science Review*, 2014. Vol. 17. P. 1–24.

Поступила в редакцию 22.06.22

NOISY TEXT ANALYTICS

M. P. Krivenko

Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

Abstract: The article is devoted to an overview of methods for interpreting noisy text data in order to obtain significant information from them. Analytics allows one to isolate useful concepts, draw conclusions from the collected data, and form a forecast. It is assumed that the texts being processed may not correspond to the target and selected reference language. Such deviations can be caused by measurement and fixation errors, be the result of the influence of random or unforeseen factors, or arise as a result of incorrect choice or tuning of the model. The article lists the types of distortions. The areas of application of methods of intellectual text processing are considered: scientific publications; blogging; e-mails; social media; speech messages; and web analytics. The methods focused on the processing of noisy texts are indicated. Promising directions for further research are formulated: clarification of the concepts of “noise” and “dirty” texts; development of ways to measure the degree of anomaly of the text; systematization of analytical tasks of text processing; and formation of criteria for the effectiveness of methods of intellectual analysis of the text to facilitate the selection of suitable technologies.

Keywords: text mining; noisy text; dirty text; analytics; review

DOI: 10.14357/08696527220405

References

1. Hookway, N. 2008. “Entering the blogosphere”: Some strategies for using blogs in social research. *Qual. Res.* 8(1):91–113.
2. Wilson, E., A. Kenny, and V. Dickson-Swift. 2015. Using blogs as a qualitative health research tool: A scoping review. *Int. J. Qual. Meth.* 14(5):1–12.
3. Tsai, F. S., Y. Chen, and K. L. Chan. 2007. Probabilistic techniques for corporate blog mining. *Emerging technologies in knowledge discovery and data mining*. Lecture notes in computer science ser. Berlin, Germany: Springer. 4819:35–44.

4. Webb, L. M., and Y. Wang. 2013. Techniques for analyzing blogs and micro-blogs. *Advancing research methods with new technologies*. Hershey, PA: IGI Global. 206–227.
5. Kumar, S., R. Zafarani, M. Abbasi, G. Barbier, and H. Liu. 2010. Convergence of influential bloggers for topic discovery in the blogosphere. *Advances in social computing*. Eds. S. K. Chai, J. J. Salerno, and P. L. Mabry. Lecture notes in computer science ser. Berlin, Germany: Springer. 6007:406–412.
6. Barbier, G., and H. Liu. 2011. Data mining in social media. *Social network data analytics*. Boston, MA: Springer. 327–352.
7. Hassani, H., C. Beneki, S. Unger, M. T. Mazinani, and M. R. Yeganegi. 2020. Text mining in big data analytics. *Big Data Cognitive Computing* 4(1):1–34.
8. Seep, K. S., and N. Patil. 2018. A multidimensional approach to blog mining. *Progress in intelligent computing techniques: Theory, practice, and applications*. Eds. P. Sa, M. Sahoo, M. Murugappan, Y. Wu, and B. Majhi. Advances in intelligent systems and computing ser. Singapore: Springer. 719:51–58.
9. Palmer, D. D. 2010. Text preprocessing. *Handbook of natural language processing*. 2nd ed. London, U.K.: Chapman & Hall/CRC. 9–30.
10. Minkov, E., R. C. Wang, and W. W. Cohe. 2005. Extracting personal names from emails: Applying named entity recognition to informal text. *Conference on Human Language Technology and Empirical Methods in Natural Language Processing Proceedings*. Stroudsburg, PA: Association for Computational Linguistics. 443–450.
11. Wani, M. A., and S. Jabin. 2018. Big data: Issues, challenges, and techniques in business intelligence. *Big data analytics*. Eds. V. Aggarwal, V. Bhatnagar, and D. Mishra. Advances in intelligent systems and computing ser. Singapore: Springer. 654:613–628.
12. Weerkamp, W., K. Balog, and M. De Rijke. 2009. Using contextual information to improve search in email archives. *31st European Conference on IR Research on Advances in Information Retrieval Proceedings*. Berlin, Germany: Springer. 400–411.
13. Tang, G., J. Pei, and W. S. Luk. 2014. Email mining: Tasks, common techniques, and tools. *Knowl. Inf. Syst.* 41:1–31.
14. Mujtaba, G., L. Shuib, R. G. Raj, N. Majeed and M. A. Al-Garadi. 2017. Email classification research trends: Review and open issues. *IEEE Access* 5:9044–9064.
15. Hangal, S., M. S. Lam, and J. Heer. 2011. MUSE: Reviving memories using email archives. *24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology Proceedings*. New York, NY: ACM. 75–84.
16. Chi, H., C. Scarllet, Z. G. Prodanoff, and D. Hubbard. 2016. Determining predisposition to insider threat activities by using text analysis. *Future Technologies Conference Proceedings*. Piscataway, NJ: IEEE. 985–990.
17. Soh, C., S. Yu, A. Narayanan, S. Duraisamy, and L. Chen. 2019. Employee profiling via aspect-based sentiment and network for insider threats detection. *Expert Syst. Appl.* 135:351–361.
18. Techniques for dealing with ransomware, business email compromise and spearphishing. Washington, DC: Osterman Research, Inc. An Osterman research white paper. 16 p. Available at: <https://4b0e0ccff07a2960f53e-707fda739cd414d8753e03d02c531a72.ssl.cf5.rackcdn.com/wp-content/> (accessed September 27, 2022).
19. Bhowmick, A., and S. M. Hazarika. Machine learning for e-mail spam filtering: Review, techniques and trends. Available at: https://www.researchgate.net/publication/303812063_Machine_Learning_for_E-mail_Spam_Filtering_Review_Techniques_and_Trends/ (accessed September 27, 2022).

20. Dada, E. G., J. S. Bassi, H. Chiroma, S. M. Abdulhamid, A. O. Adetunmbi, and O. E. Ajibuwa. 2019. Machine learning for email spam filtering: Review, approaches and open research problems. *Heliyon* 5:1–23.
21. Pang, B., and L. Lee. 2004. A sentimental education: Sentiment analysis using subjectivity summarization based on minimum cuts. *42nd Meeting of the Association for Computational Linguistics Proceedings*. Stroudsburg, PA: Association for Computational Linguistics. 271–278.
22. Salloum, S. A., M. Al-Emran, A. A. Monem, and K. Shaalan. 2017. A survey of text mining in social media: Facebook and Twitter perspectives. *ASTESJ* 2(1):127–133.
23. Akhtar, M. S., U. K. Sikdar, and A. Ekba. 2015. Hybrid approach for text normalization in twitter. *ACL Workshop on Noisy User-generated Text Proceedings*. Beijing, China. 106–110.
24. Bholat, D., S. Hansen, P. Santos, and C. Schonhardt-Bailey. 2015. *Text mining for central banks*. London, U.K.: Bank of England. Handbook No. 33. 29 p.
25. Eckley, P. 2015. Measuring economic uncertainty using news-media textual data. Germany: MPRA. Paper No. 64874. 76 p. Available at: <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/69784/> (accessed September 27, 2022).
26. Pang, B., and L. Lee. 2008. Opinion mining and sentiment analysis. *Found. Trends Inf. Ret.* 2(1-2): 1-135.
27. Klebanov, B. B., D. Diermeier, and E. Beigman. 2008. Lexical cohesion analysis of political speech. *Polit. Anal.* 16(4):447–463.
28. Acharya, A., N. Crawford, and M. Maduabum. 2016. *A nation divided: Classifying presidential speeches*. Stanford, CA: Stanford University. 6 p.
29. Sardanios, C., I. M. Katakis, G. Petasis, and V. Karkaletsis. 2015. Argument extraction from news. *2nd Workshop on Argumentation Mining Proceedings*. Denver, CO. 56–66.
30. Fiscus, J. G., J. Ajot, and J. S. Garofolo. 2008. The Rich Transcription 2007 Meeting Recognition Evaluation. *Multimodal technologies for perception of humans*. Eds. R. Stiefelwagen, R. Bowers, and J. Fiscus. Lecture notes in computer science ser. Berlin, Germany: Springer. 4625:373–389.
31. Camelin, N., F. Béchet, G. Damnati, and R. De Mori. 2007. Speech mining in noisy audio message corpus. *8th Annual Conference of the International Speech Communication Association Proceedings*. Antwerp, Belgium. 2401–2404.
32. Sheeba, J., and K. Vivekanan. 2012. Improved keyword and keyphrase extraction from meeting transcripts. *Int. J. Computer Appl.* 52(13):11–15.
33. Liu, F., F. Liu, and Y. Liu. 2011. Supervised framework for keyword extraction from meeting transcripts. *IEEE T. Audio Speech* 19(3):538–548.
34. Waldherr, A., D. Maier, P. Miltner, and E. Günther. 2017. Big data, big noise: The challenge of finding issue networks on the Web. *Soc. Sci. Comput. Rev.* 35(4):427–443.
35. Mohammad, R. M., F. Thabtah, and L. McCluskey. 2014. Tutorial and critical analysis of phishing websites methods. *Computer Science Review* 17:1–24.

Received June 22, 2022

Contributor

Krivenko Michail P. (b. 1946) — Doctor of Science in technology, professor, leading scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; mkrivenko@ipiran.ru

ТОКЕНИЗАЦИЯ ТЕКСТОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ШАБЛОНОВ

Ю. В. Никитин¹, А. А. Хорошилов², А. Е. Макарова³

Аннотация: Предлагается новый метод токенизации текста, базирующийся на применении обобщенных функциональных шаблонов. В основу метода положена классификация символов Юникода, учитывающая их роль в формировании элементарных элементов текста (сегментов), и классификация сформированных сегментов по типу их графематических классов. Особенность метода заключается в использовании при формировании шаблона интервалов последовательности символов Юникода. Основное достоинство метода — возможность токенизации сложных информационных объектов (номера, географические координаты, наименования артикулов инженерных изделий и т. п.), возможность получения детальной классификации токенов на стадии их формирования, возможность включения и исключения токенизации определенного вида токенов, а также добавления новых шаблонов по образцу текста для дообучения системы.

Ключевые слова: токенизация; сегментация текста; функциональные шаблоны; графематический анализ; компьютерная лингвистика; автоматическая обработка текстов

DOI: 10.14357/08696527220406

1 Введение

В процессе автоматической обработки текстов (АОТ) на начальном этапе необходимо преобразовать символьное представление текста в последовательность его текстовых структурных объектов. Такое преобразование возможно осуществить только на основе закономерностей установления границ между элементами текста. В рамках процесса АОТ это преобразование называется токенизацией.

В настоящее время в системах обработки текстовой информации используются различные методы токенизации: методы, базирующиеся на регулярных выражениях [1]; методы, основанные на правилах [2]; нейросетевые методы [3]. Методы, основанные на регулярных выражениях и на правилах, не могут учесть все разнообразие сложных случаев, а нейросети реализуют только те ситуации, которые встречались в обучающей выборке.

¹Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, yuri.v.nikitin@gmail.com

²Московский авиационный институт; Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук; 27 Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны Российской Федерации, khoroshilov@mail.ru

³АО «НПК «ВТ и СС», anna20497@list.ru

Структурные элементы текста, выделяемые средствами токенизации, относятся к различным информационным объектам. К текстовым объектам относятся слова (простые, сложные, аббревиатуры, хештеги, слова, содержащие в своем составе числа, и т. п.), знаки пунктуации (в том числе кавычки и скобки), цифровые последовательности (положительные, отрицательные и дробные числа, проценты, даты, числа в экспоненциальной записи или с разделением разрядов и т. п.), знаки обозначения (амперсанд, параграф, номер, копирайт, обозначения валют, символы математических операций и т. п.).

2 Основная идея предлагаемого метода

Процесс токенизации текстов состоит из следующей последовательности процедур:

- сегментация — деление текста на сегменты по графематическим классам символов;
- формально-логический контроль — замена омоглифов и букв «ё», исправление частых ошибок в словах;
- токенизация в узком смысле — объединение сегментов в токены;
- детальная классификация токенов по типу их графематических классов.

Сегментация. Под сегментацией понимается деление текста на элементарные сегменты, состоящие из символов с однородными графематическими классами. Под однородностью графематических классов понимается возможность их сочетания в одном сегменте (настраиваемый параметр). Примерами сегментации, при которой графические отображения символов с однородными классами собираются в единый сегмент, могут служить следующие случаи: L и l (основная латиница); К и к (кириллица); G и g (греческий).

Последовательности разделителей элементов текста (пробелы, табуляции, переводы строки, разделители звездочками, подчеркивания и т. п.) в процессе сегментации рассматриваются отдельно. Такие последовательности между токенами называем делимитерами. Они делятся на два вида:

- (1) пробельные — состоят из любого числа вышеперечисленных разделителей текста, кроме перевода строки;
- (2) концы строк — состоят из любого числа разделителей, включая хотя бы один перевод строки.

Все пробельные делимитеры, независимо от их числа, заменяются одиночными пробелами. Аналогично все делимитеры концов строк заменяются на один перевод строки.

Таким образом, с помощью преобразования делимитеров к унифицированному разделителю (пробел/перевод строки) текст очищается для упрощения дальнейшего анализа.

Результатом сегментации является кортеж (упорядоченный массив) элементарных сегментов текста, состоящих из однородных символов текста или делимитеров.

Формально-логический контроль. На данном этапе в словах проводится замена буквы «ё» на «е» и исправление омоглифов (букв, имеющих совпадающее написание в разных алфавитах) на буквы «родного» алфавита. После этого для слов с обнаруженными отклонениями проводятся замены символов и измененный текст сегмента записывается в эталонное значение контента. При этом исходный контент сегмента сохраняется. При дальнейшем разборе для слов, имеющих эталонный контент, в качестве их текстового значения рассматривается именно эталон.

Токенизация. Под токенизацией (в узком смысле, в рамках карты процесса АОТ) понимается процесс объединения элементарных сегментов текста в составной токен.

Ввиду того что алфавитные символы, цифры и знаки (в том числе дефисы и апострофы, играющие в словах роль буквы) имеют неоднородные графематические классы, они попадают в разные сегменты, поэтому для сложных последовательностей (см. таблицу) требуется дополнительная «сборка» в один элемент (токен). Такие конструкции представляют собой составные объединения элементарных сегментов.

Примеры сложных токенов

Обозначение	Название
8-800-000-00-00	Телефон
55°45'21" с. ш. 37°37'04" в. д.	Географические координаты
1.022E23	Экспоненциальная запись числа
+34 °C	Температура
postbox@mail.ru	Электронная почта
www.yandex.ru	Адрес сайта
#москва	Хештег
@kremlinmuseums	Аккаунт в соцсети
01.01.2022	Дата
09:02	Время
:)	Смайл
$10 - 7 = 3$	Математическое выражение
Вице-президент	Слова, написанные через дефис
Emias.info, Грамота.ру, Яндекс.Карты	Слова, содержащие в своем составе точку
Москва — столица	Слова, написанные через тире
Москва-92, Су-57	Слова, имеющие в составе числительное
300-летие, 100-рублевый, 15-процентный	Существительные и прилагательные в словесно-цифровой форме
Д'Артаньян	Слова, содержащие апостроф

Каждый сегмент можно описать простейшей формулой на основе его графематического класса и длины (по следующему принципу: «одна буква», «две цифры», «один дефис», «много букв», «одна точка», «много цифр» и т. п.). Тогда всю конструкцию можно описать составной формулой всех ее сегментов. Например: формула «много букв, один дефис, много букв» (9L 1- 9L) соответствует словам вида «вице-президент»; формула «две цифры, одна точка, две цифры, одна точка, четыре цифры» (2D 1. 2D 1. 4D) соответствует цифровому формату даты «01.01.2022». Словарь формул составных конструкций формируется по корпусу текстов, а объединение сегментов в токены на этапе токенизации проводится уже по такому словарю.

Аналогично в единую составную конструкцию собираются последовательно стоящие делimiters с той лишь разницей, что составной сегмент не становится значимым токеном текста, а также унифицируется в разделитель текста.

Типы токенов (слово, число/номер, знак пунктуации, знак обозначения) и тип «делимитер» определяются по словарю формул составных сегментов GA_3, т. е. они заранее присваиваются формулам на этапе составления словаря из шаблонов текстовых фрагментов соответствующего вида.

Классификация токенов. В процессе токенизации проводится детальная классификация токенов: определяется типологический класс (простое слово, сложное слово, число, номер, знак препинания, знак обозначения), вид (например, дробное число, IP-адрес, телефонный номер) и графематический класс (классификация в зависимости от буквенно-знакового состава и регистра символов). Это исключает необходимость проведения ряда технологических операций на последующих стадиях обработки текстов.

3 Модель процесса

Сопоставление символов текста с соответствующими графематическими классами описывается при помощи дискретной функции

$$\text{CharClass}(x_i) = y_i,$$

значения которой представляют собой элементы множества Cls,

$$\text{Cls} = \{y_i\} = \{L, l, K, k, D, \dots\}.$$

Определенные заранее графематические классы занесены в таблицу GA_1:

$$\text{GA}_1 = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ \dots & \dots \\ x_s & y_s \end{pmatrix}.$$

Здесь $s = 1, \dots, e$, где e — число учитываемых символов исходного текста и соответствующих им значений функции $\text{CharClass}(x_i)$.

Сегменты segm_* и segm_{**} , формулы которых совпадают, считаются однородными:

$$\text{SymbForm}(\text{segm}_*) = \text{SymbForm}(\text{segm}_{**}).$$

Объединение элементарных сегментов текста в составные (токены) будет выглядеть следующим образом:

$$\text{Token} = \{\text{segm}_1, \text{segm}_2, \dots, \text{segm}_p\},$$

где p — число сегментов в токене.

Длины сегментов каждого графематического класса ранжируются по интервалам:

$$\text{Intervals}_{\text{segm}} : \begin{cases} 1 \leq \text{len}(\text{segm}) \leq b_1; \\ b_1 + 1 \leq \text{len}(\text{segm}) \leq b_2; \\ b_2 + 1 \leq \text{len}(\text{segm}) \leq b_3; \\ \dots \\ b_{n-1} + 1 \leq \text{len}(\text{segm}) \leq b_n, \end{cases}$$

где $n = 1, \dots, m$ — число интервалов класса символа; $B = \{b_n\}$ — границы интервалов. Полученные интервалы хранятся в таблице GA₂:

$$\text{GA}_2 = \begin{pmatrix} y_1 & a_1^1 & b_1^1 & F_1^1 & F_1'^1 \\ y_1 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_1 & a_q^1 & b_q^1 & F_q^1 & F_q'^1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_j & a_z^j & b_z^j & F_z^j & F_z'^j \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_s & a_n^s & b_n^s & F_n^s & F_n'^s \end{pmatrix},$$

где a_n^s — левая граница интервала для графематического класса символа y_s ; b_n^s — правая граница интервала для графематического класса символа y_s ; F_n^s — формула графематического класса символа y_s в интервале $[a_n^s; b_n^s]$; $F_n'^s$ — символ формулы графематического класса символа y_s в интервале $[a_n^s; b_n^s]$.

Формула элементарного сегмента будет определена следующим образом:

$$\text{Form}(\text{segm}) = \begin{cases} F_1, & \text{segm} : 1 \leq \text{len}(\text{segm}) \leq b_1; \\ F_2, & \text{segm} : b_1 + 1 \leq \text{len}(\text{segm}) \leq b_2; \\ F_3, & \text{segm} : b_2 + 1 \leq \text{len}(\text{segm}) \leq b_3; \\ \dots & \dots \\ F_g, & \text{segm} : b_{n-1} + 1 \leq \text{len}(\text{segm}) \leq b_n. \end{cases}$$

Здесь $g = 1, \dots, c$, где c — число формул интервалов класса символа.

Тогда символ формулы элементарного сегмента будет записан как

$$\text{SymbForm}(\text{segm}) = F_{g'} | \text{Form}(\text{segm}) = F_g.$$

Здесь $g' = 1, \dots, c'$, где c' — число символов формул интервалов.

Объединение элементарных сегментов в токен происходит по словарю шаблонов, составленному вручную с учетом специфики конкретного текста.

В итоге составной сегмент будет представлять собой конкатенацию символьных строк формул сегментов $\text{segm}_1, \text{segm}_2, \dots, \text{segm}_k$:

$$\text{Comp_segm} = \bigcup_1^{\max} \text{Form}(\text{segm}_k),$$

а исходный текст будет определен как последовательность составных сегментов:

$$\text{Text} = (\text{segm}_1, \text{segm}_2, \dots, \text{segm}_t),$$

где t — число составных сегментов в тексте.

4 Алгоритм токенизации

1. Замена символов исходного текста на символы графематических классов

Обозначение класса каждого символа определяется по таблице GA_1.

Исходный текст:

Вчера, 22.08.2020, экс-главу ЦРУ 8 часов допрашивали по делу о вмешательстве в выборы.

После замены:

Kkkkl, DD.DD.DDDD, kkk-kkkkkKKKDkkkkkkklklkkkkkkklkkkkkkkkkkkkkkkkkkkkk.

2. Поиск и замена омогифов и/или буквы «ё» при наличии таковых

Буква «а» в слове «Вчера», буквы «о» и «а» в слове «допрашивали», а также «е» в слове «делу» набраны на английской раскладке клавиатуры. После замены омогифов соответствующие последовательности графематических классов изменятся:

Kkkkk, DD.DD.DDDD, kkk-kkkkkKKKDkkkkkkkkkkkkkkkkkkkkkkkkkkkkkkkkkkkkkkk.

3. Объединение в один сегмент последовательностей с однородными символами

Поскольку графематические классы символов «К» и «kkkk» заданы как однородные, последовательность «Kkkkk» будет расцениваться как один сегмент и обрабатываться так же, как если бы в обработку поступила последовательность из 7 идущих подряд символов «k» в одном регистре.

4. Приведение символьных последовательностей к их формальным сжатым графематическим представлениям

Приведение осуществляется в соответствии с таблицей GA₂, в которой указаны интервалы. После сжатия текст будет иметь следующий вид:

9L1,1Z2D1.2D1.4D1,1Z9L1-9L1Z9L1Z1D1Z9L1Z9L1Z9L1Z9L1Z1L1Z9L1Z1L1Z9L1.

5. Поиск в массиве формальных графематических представлений шаблонов формул по словарю и определение типа получившегося токена

Для «сборки» сегментов в один токен и определения его типа применяется словарь GA₃ составных сегментов. Если составная формула группы рядом стоящих сегментов есть в словаре GA₃, то такие сегменты подлежат объединению. Если нет, то группа сегментов уменьшается на 1 справа и поиск продолжается.

Вначале требуется определить максимальную длину формулы в символах ($F_{\max}$) и вычислить на ее основе максимальное число сегментов, которые могут быть сгруппированы ($N_{\max}$):

$$N_{\max} = \frac{F_{\max}}{2}.$$

В данном примере $F_{\max} = 10$ символов; следовательно, $N_{\max} = 5$ сегментов.

Далее последовательно с первого сегмента объединяются $N_{\max}$ сегментов и в строку суммируются их формулы для получения искомой составной формулы, которую требуется проверить по словарю GA₃ на возможность объединения.

В данном примере для сегментов 1–5 составная формула = «9L1,1Z2D1.».

Если результат поиска составной формулы в словаре GA₃ отрицательный, число сегментов сокращается на 1 сегмент справа и процесс поиска продолжается до тех пор, пока не будет найдена составная формула, или до тех пор, пока в словаре GA₃ не будет найдена формула оставшегося одного простейшего сегмента.

Для анализируемой группы в словаре GA₃ находится только простейшая формула для первого сегмента — 9L. Тип такого токена — Word.

Далее проверяются на совместимость следующие $N_{\max}$ сегментов, начиная с сегмента, следующего за последним сегментом, вошедшим в токен. Проверка продолжается до включения в токены последнего сегмента текста. При этом делimiters токенами не являются.

В данном примере:

сегменты 4–8 (составная строка классов «DD.DD.DDDD», составная формула «2D1.2D1.4D») были найдены в словаре GA₃ и объединены в один токен типа Number, класс токена 12 (цифровой формат даты);

сегменты 11–13 (составная строка классов «kkk-kkkkk», составная формула «9L1-9L») были найдены в словаре GA₃ и объединены в один токен типа Word, класс токена 2 (сложносоставное слово);

сегменты 3 и 10, содержащие пробелы, определились по словарю GA_3 как делimiters (формула «1Z») и в массив токенов не вошли.

6. Получение по имеющимся адресам сегментов исходного текста, разбитого на токены

5 Заключение

Широко распространенные способы токенизации не позволяют в полной мере преобразовать символьное представление сложных технических текстов в систему информационных объектов. Методы, основанные на правилах, не могут учесть все разнообразие сложных случаев, а нейросети реализуют только те ситуации, которые встречались в обучающей выборке. Метод, описанный в статье, учитывает указанные недостатки и дает возможность успешно токенизировать сложные текстовые объекты благодаря применению функциональных шаблонов. К их дополнительным преимуществам можно отнести возможность управления включением или выключением токенизации определенного вида токенов, добавления новых шаблонов по образцу текста и получения на стадии формирования токенов их детальной классификации.

Литература

1. *Ермакович М. В.* Автоматическое определение границ слова в русском тексте с помощью комплекса лингвистических правил // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: по мат-лам междунар. конф. «Диалог 2017». — М.: РГГУ, 2017. <http://www.dialog-21.ru/media/3981/ermakovichmv.pdf>.
2. *Белоногов Г. Г., Калинин Ю. П., Хорошилов А. А.* Компьютерная лингвистика и перспективные информационные технологии. Теория и практика построения систем автоматической обработки текстовой информации. — М.: Русский мир, 2004. 248 с.
3. *Гречачин В. А.* К вопросу о токенизации текста // Международный научно-исследовательский ж., 2016. № 6-4(48). С. 25–27.

Поступила в редакцию 15.09.22

TOKENIZATION BASED ON THE METHOD OF FUNCTIONAL PATTERNS

Yu. V. Nikitin¹, A. A. Khoroshilov^{1,2,3}, and A. E. Makarova⁴

¹Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

²Moscow State Aviation Institute (National Research University), 4 Volokolamskoe Shosse, Moscow 125933, Russian Federation

³27th Central Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation, 5, 1st Khoroshevsky Passage, Moscow 123007, Russian Federation

⁴Scientific Industrial Joint Stock Company “High Technology and Strategic Systems,” 27-9 Elektrozavodskaya Str., Moscow 107023, Russian Federation

Abstract: The article proposes a new method of text tokenization based on the use of generalized functional templates. The method is based on the classification of Unicode characters in terms of their role in the formation of text elements and on the use of compound patterns from the generalized character classes. Widespread regular expressions are not used here. A specific feature of the method is the use of a sequence of characters as a part of the interval template. The strengths of the method include successful tokenization of complex information objects (numbers, geographic coordinates, names of articles of engineering products, etc.), obtaining the detailed classification of tokens at the stage of their formation, the ability to turn on and off tokenization of a certain type of tokens, as well as adding new templates according to the sample text for additional training of the system.

Keywords: tokenization; segmentation; graphematic analysis; computational linguistics; patterns; substitution; token

DOI: 10.14357/08696527220406

References

1. Ermakovich, M. V. 2017. Avtomaticheskoe opredelenie granits slova v russkom tekste s pomoshch'yu kompleksa lingvisticheskikh pravil [Automatic word boundary disambiguation on russian text using linguistic rules]. *Computational Linguistics and Intellectual Technologies. Papers from the Annual Conference (International) “Dialogue.”* Moscow: RGGU. Available at: <https://www.dialog-21.ru/media/3981/yermakovichmv.pdf> (accessed October 11, 2022).
2. Belonogov, G. G., Yu. P. Kalinin, and A. A. Khoroshilov. 2004. *Komp'yuternaya lingvistika i perspektivnye informatsionnye tekhnologii. Teoriya i praktika postroeniya sistem avtomaticheskoy obrabotki tekstovoy informatsii* [Computational linguistics and advanced information technologies. Theory and practice of building systems for automatic processing of text information]. Moscow: Russkiy mir. 248 p.

3. Grechachin, V. A. 2016. K voprosu o tokenizatsii teksta [The issue of text tokenization]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zh.* [International Research J.] 6-4(48):25–27.

Received September 15, 2022

Contributors

Nikitin Yury V. (b. 1977) — scientist, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; yuri.v.nikitin@gmail.com

Khoroshilov Aleksander A. (b. 1952) — Doctor of Science in technology, professor, Moscow State Aviation Institute (National Research University), 4 Volokolamskoe Shosse, Moscow 125933, Russian Federation; leading scientist, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; senior scientist, 27th Central Research Institute of the Ministry of Defence of the Russian Federation, 5, 1st Khoroshevsky Passage, Moscow 123007, Russian Federation; khoroshilov@mail.ru

Makarova Anna E. (b. 1997) — mathematical software developer, Scientific Industrial Joint Stock Company “High Technology and Strategic Systems,” 27-9 Elektrozavodskaya Str., Moscow 107023, Russian Federation; anna20497@list.ru

МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ОБМЕНОМ ДАННЫМИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СМЫСЛОВОГО АНАЛИЗА ПЕРЕДАВАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИНФОРМАЦИИ

М. М. Гершкович¹, Т. К. Бирюкова²

Аннотация: Предложен метод управления передачей элементов данных между узлами территориально распределенной автоматизированной информационной системы (АИС), направленный на скорейшую доставку наиболее ценной информации для пользователя в ситуациях, когда в канале связи возникает очередь пакетов данных. Определено понятие информационного объекта (ИО) как совокупности характеристик (атрибутов) некоторой сущности. Введено понятие логического блока данных как объединения логически связанных характеристик ИО или события. Указано, что состав логического блока может быть задан экспертом в зависимости от видов данных в АИС и от задач, решаемых пользователями. Предложен метод назначения приоритетов логическим блокам данных при передаче по каналам связи в зависимости от смыслового содержания. Приведен способ количественной оценки ценности логического блока и изменения ценности информации во времени.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система; информационно-аналитическая система; канал связи; информационный обмен; приоритет данных; пакет данных

DOI: 10.14357/08696527220407

1 Введение

В настоящее время многочисленные АИС создаются в рамках реализации Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 (в ред. Указа Президента Российской Федерации от 15 марта 2021 г. № 143) [1], в том числе с целью выполнения программы «Цифровая экономика Российской Федерации», принятой Правительством РФ в 2017 г. [2]. Научные исследования по вопросам создания АИС много лет выполняются в Федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН). Некоторые результаты, апробированные в ряде научно-исследовательских и опытно-конст-

¹Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, makmg@mail.ru

²Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, yukonta@mail.ru

рукторских работ, изложены в [3–10]. Так, в монографии [9] рассмотрены фундаментальные и частные проблемы обмена данными в крупных АИС, реализующих межведомственное информационное взаимодействие. В частности, отмечено, что для оценки ситуации и прогнозирования ее изменения крайне важна своевременность доставки информации. Монография [8] и статьи [6, 7, 10] посвящены вопросам оценки качества и эффективности АИС. Указано, что в современных АИС важными показателями качества являются вероятностно-временные характеристики передачи данных в системе.

В статьях с участием авторов [4, 5] рассмотрены способы организации информационного обмена в многоуровневых территориально распределенных АИС. С учетом значимости скоростных характеристик информационного обмена и в продолжение [4, 5] в данной статье предлагается метод управления передачей элементов данных между узлами территориально распределенной АИС, направленный на скорейшую доставку наиболее ценной информации для пользователя, в том числе в ситуациях, когда в канале связи возникает очередь пакетов данных, предназначенных для отправки получателю.

2 Основные положения способа назначения приоритетов элементам информации с учетом их смыслового содержания при передаче по каналам связи

В больших территориально распределенных АИС обеспечить бесперебойность функционирования всей системы можно только путем использования дорогостоящих технических решений (например, кластерных систем). Такие решения в настоящее время, как правило, применяются только на участках АИС, где особенно важно предотвратить ущерб от несвоевременной доставки информации. Для остальных частей АИС обычно используются технологии, обеспечивающие работоспособность исправной части системы при выходе из строя каких-либо технических средств или каналов связи. Соблюдаются требования по сохранности информации при авариях и обеспечению доставки данных по назначению после восстановления функционирования компонентов системы после аварии. Принимаются организационные меры для ускорения ремонта при выходе из строя оборудования, обеспечивается наличие комплектов запасных частей, инструмента и принадлежностей (ЗИП) на оснащаемых объектах. Тем не менее в АИС с большим числом узлов неизбежны ситуации, когда пропускная способность канала связи оказывается ниже интенсивности потока данных (в том числе после ликвидации неисправностей либо при значительном увеличении объема передаваемых данных по другим причинам), данные скапливаются в канале, возникает очередь. Поэтому в системах, где нужна оперативность реагирования на изменение обстановки, важно свести к минимуму задержки поступления именно тех данных, которые критичны для оценки событий.

В статье указан способ дифференциации элементов (логических блоков) данных по смыслу и назначения им приоритетов при передаче по каналам связи.

Введем понятие логического блока данных как совокупности логически связанных элементов информации, служащих характеристиками информационного объекта или события. Информационным объектом будем называть совокупность характеристик (атрибутов) некоторой сущности. Например, ИО физическое лицо (ФЛ) может иметь в АИС как текстовые атрибуты (фамилия, имя, отчество, данные удостоверений личности и др.), так и биометрические (фотографии, образцы голоса, изображения радужной оболочки глаза, дактилоскопические данные и др.). Состав логического блока должен определяться экспертом так, чтобы набор атрибутов, составляющих блок, можно было использовать для идентификации ИО и для анализа данных. Так, логическим блоком можно считать набор текстовых паспортных данных ФЛ, поскольку эти данные позволяют отличить одно ФЛ от другого. Другим логическим блоком можно считать фотографию ФЛ (это дополнительная информация, характеризующая ФЛ). Ценность упомянутых блоков для разных задач может быть неодинаковой. Логично предположить, что во многих задачах быстрая доставка текстовых паспортных данных (имеющих относительно небольшой объем) может быть важнее, чем фотографий (существенно большего объема). Логические блоки при передаче по каналам связи делятся на пакеты. Пока все передаваемые пакеты, составляющие логический блок, не будут получены в точке приема данных и снова собраны в блок, информацией из отдельных пришедших пакетов невозможно оперировать в задачах. Если при передаче перемешивать пакеты, содержащие текстовую информацию, с пакетами, состоящими из фотоданных, то в условиях недостаточной пропускной способности канала логический блок на принимающей стороне будет собран из пакетов позже, чем если бы осуществлялась приоритетная передача текстовых пакетов.

Важным фактором для определения приоритетов является также изменение ценности информации во времени. Данные, «возраст» которых составляет несколько дней, в некоторых задачах практически бесполезны, а данные «не старше» нескольких минут особо важны. Ниже приводится способ количественной оценки ценности блока информации и изменения ценности во времени.

3 Количественная оценка ценности блоков информации и изменения ценности информации во времени

Рассуждения, приведенные в данном разделе, верны и для логических блоков, и для пакетов информации (на которые логический блок может быть разбит при передаче), поэтому объединим их понятием «сообщение».

Задача ставится следующим образом: назначить приоритеты сообщениям в очереди передачи так, чтобы ущерб от задержки данных был минимальным.

Процесс старения сообщений во многих ситуациях целесообразно считать неравномерным — сначала в течение некоторого времени сохраняется высокая ценность сообщения, затем ценность быстро снижается (информация «устаревает» для решения задач) и, далее, ценность информации асимптотически при-

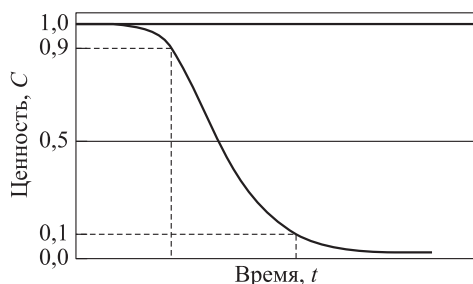


Рис. 1 Зависимость ценности сообщения от времени задержки данных

период времени t_i , $i = 1, \dots, N$. Их суммарная ценность выражается формулой:

$$C_0 = \sum_{i=1}^N C(t_i).$$

Для передачи одного сообщения нужно время τ . Если выбрать для отправки сообщение с номером n , то через время τ суммарная ценность составит

$$C_\tau = \sum_{i=1}^N C(t_i + \tau) - C(t_n + \tau) + C(t_n). \quad (1)$$

В формуле (1) не учитываются сообщения, которые могли поступить за время τ , поскольку они не оказывают влияния на выбор отправляемого сообщения.

Требуется выбрать сообщение с таким номером n (ожидавшее в очереди время t_n), чтобы суммарная ценность C_τ была максимальной.

Значение C_τ становится максимальным при таком n , для которого $C(t_n) - C(t_n + \tau)$ максимально. Если принять

$$C(t_n) - C(t_n + \tau) \approx - \left. \frac{dC(t)}{dt} \right|_{t_n} \tau,$$

то получается, что для сравнения значений ценности C_τ нужно сравнивать значения производных в точках t_i , $i = 1, \dots, N$. Приоритет должно получить сообщение с тем номером n , для которого значение $-(dC(t)/dt)|_{t_n} \tau$ максимально (т. е. сообщение, для которого скорость снижения ценности максимальна).

Характер поведения функции $-dC(t)/dt$ показан на рис. 2.

Функции вида, представленного на рис. 2, хорошо аппроксимируются кривой

$$f(t) = \frac{t}{at^2 + bt + c} \approx - \frac{dC(t)}{dt}.$$

ближается к нулю. На рис. 1 показан примерный вид кривой устаревания информации. Конкретный вид может определяться с помощью экспертных оценок. На практике эксперт может оценить интервалы времени, соответствующие квантилям, например, в 90%, 50% и 10% сохранения ценности информации.

Пусть к заданному моменту времени в очереди скопились N сообщений, каждое из которых уже ожидало

Следовательно, первообразная

$$F(t) = 1 - \int_0^t \frac{x \, dx}{ax^2 + bx + c}$$

функции $-f(t)$ приближает функцию $C(t)$. Значения a , b и c подбираются таким образом, чтобы соответствовать квантильным экспертным оценкам. Индекс n точки t_n , ближайшей к точке максимума функции $f(t)$, — это номер наиболее приоритетного сообщения для передачи.

Если кривая $C(t)$ имеет более сложный вид, то функция $f(t)$ не подойдет для приближения ее производной. В этом случае функцию $C(t)$ можно, например, аппроксимировать сплайном $\tilde{C}(t)$ по известным точкам (квантилям, определенным экспертом, см. рис. 1). Тогда лучше взять большее число квантилей, чтобы получить больше узлов сплайна и, соответственно, более точное приближение как функции $C(t)$, так и ее производной. Затем следует найти производную от сплайна $\tilde{C}(t)$ с обратным знаком:

$$-\tilde{C}'(t) = -\frac{d\tilde{C}(t)}{dt} \approx -\frac{dC(t)}{dt}.$$

Индекс n точки t_n , ближайшей к точке максимума функции $-\tilde{C}'(t)$, и будет искомым номером сообщения, которому нужно установить наивысший приоритет.

Можно расширить задачу, введя в рассмотрение не один, а M видов сообщений (разделенных по смысловому содержанию). Для каждого вида известны функция устаревания $C_m(t)$ и время τ_m ($m = 1, \dots, M$), требуемое для передачи сообщения. Эта задача решается аналогично, если удастся определить исходную сравнительную ценность каждого вида сообщений S_m , $m = 1, \dots, M$. Тогда приоритетной отправке подлежит то сообщение, у которого максимально значение производной $-(dC_m(t)/dt)|_{t_n}$, умноженное на нормирующий коэффициент S_m/τ_m .

4 Заключение

В работе предложен метод управления передачей элементов данных между узлами территориально распределенной АИС, направленный на скорейшую доставку наиболее ценной информации для пользователя в ситуациях, когда в канале связи возникает очередь пакетов данных.

Введено понятие логического блока данных как объединения логически связанных характеристик информационного объекта или события. Определено

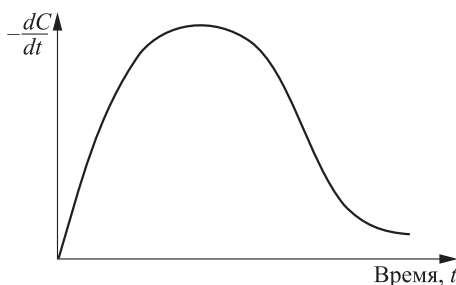


Рис. 2 Поведение скорости убывания ценности в зависимости от времени задержки сообщения

понятие ИО как совокупности характеристик (атрибутов) некоторой сущности. Указано, что состав логического блока может быть задан экспертом в зависимости от видов данных в АИС и от задач, решаемых пользователями. Приведен способ назначения приоритетов логическим блокам данных при передаче по каналам связи в зависимости от смыслового содержания. Предложен метод количественной оценки ценности блока информации и изменения ценности информации во времени.

Литература

1. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 № 642. <http://kremlin.ru/acts/bank/41449>.
2. Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р. <http://government.ru/docs/28653>.
3. Соколов И. А., Полянский А. В., Киселев Э. В., Сеницын И. Н., Темнов А. И. Проблемы построения информационно-телекоммуникационных систем интегрированного типа. — М.: ИПИ РАН, 2001. С. 5–23.
4. Гершкович М. М., Бирюкова Т. К., Сеницын В. И. Проблемы проектирования федеральных информационно-телекоммуникационных систем, организация взаимодействия хранилищ данных в территориально-распределенных системах и задачи распознавания информационных объектов // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов, обработки изображений и символьной информации: Мат-лы IX Междунар. конф. — Курск: КурскГТУ, 2010. С. 127–129.
5. Гершкович М. М., Бирюкова Т. К., Сеницын В. И., Долгополов В. С., Заикин М. Ю., Козлова Л. М. Особенности организации информационного обмена в многоуровневых территориально-распределенных системах // Кибернетика и высокие технологии XXI века: Труды XII Междунар. научн.-технич. конф. — Воронеж: Саквее, 2011. Т. 1. С. 1–12.
6. Ионенков Ю. С. Научно-практические аспекты оценки эффективности информационно-телекоммуникационных систем // Радиолокация, навигация, связь: Сб. трудов XXIV Междунар. научн.-технич. конф. — Воронеж: Вэлборн, 2018. Т. 1. С. 140–149.
7. Зацаринный А. А., Ионенков Ю. С. Метод выбора варианта построения информационно-телекоммуникационной системы // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 3. С. 5–20.
8. Зацаринный А. А., Ионенков Ю. С. Оценка эффективности информационно-телекоммуникационных систем. — М.: НИПКЦ Восход-А, 2020. 120 с.
9. Зацаринный А. А., Сучков А. П. Информационное взаимодействие в распределенных системах ситуационного управления. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2021. 268 с.
10. Зацаринный А. А., Ионенков Ю. С. Некоторые вопросы оценки качества информационных систем // Системы и средства информатики, 2021. Т. 31. № 4. С. 4–17.

Поступила в редакцию 03.03.22

THE METHOD OF DATA EXCHANGE MANAGEMENT IN AUTOMATED INFORMATION SYSTEMS WITH SEMANTIC ANALYSIS OF TRANSMITTED INFORMATION ELEMENTS

M. M. Gershkovich and T. K. Biryukova

Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation

Abstract: The article proposes a method for managing the transmission of data elements between nodes of a geographically distributed automated information system (AIS) aimed at the fastest delivery of the most valuable information to the user in situations where a queue of data packets appears in the communication channel. The concept of an information object (IO) is defined as a set of characteristics of some entity. The concept of a logical data block is introduced as a combination of logically related characteristics of an IO or event. The composition of the logical block can be set by an expert depending on the content of the data in the AIS and on the tasks solved by users. A method for assigning priorities to logical data blocks during transmission over communication channels depending on the semantic content is described. An algorithm for quantifying the value of a logical block and changing the value of information over time is presented.

Keywords: automated information system; information-analytical system; communication channel; information exchange; data priority; data package

DOI: 10.14357/08696527220407

References

1. O Strategii nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii: Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 01.12.2016 No. 642 [About Strategy of scientific and technological development of the Russian Federation. Presidential Decree No. 642 dated 01.12.2016]. Available at: <http://kremlin.ru/acts/bank/41449> (accessed October 21, 2022).
2. Ob utverzhdenii programmy “Tsifrovaya ekonomika Rossiyskoy Federatsii.” Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 28.07.2017 No. 1632-r [Approval of the program “Digital economy of the Russian Federation.” Order of the Government of RF No. 1632-r dated July 28, 2017]. Available at: <http://government.ru/docs/28653> (accessed October 21, 2022).
3. Sokolov, I. A., A. V. Polyanskiy, E. V. Kiselev, I. N. Sinitsyn, and A. I. Temnov. 2001. *Problemy postroeniya informatsionno-telekommunikatsionnykh sistem integrirovannogo tipa* [Problems of building information-telecommunication systems of an integrated type]. Moscow: IPI RAN. 5–23.
4. Gershkovich, M. M., T. K. Biryukova, and V. I. Sinitsin. 2010. Problemy proektirovaniya federal'nykh informatsionno-telekommunikatsionnykh sistem, organizatsiya vzaimodeystviya khranilishch dannykh v territorial'no-raspredelelennykh sistemakh

- i zadachi raspoznavaniya informatsionnykh ob"yektov [Design problems of federal information and telecommunication systems, organization of the data storage interaction in geographically distributed systems, and the problem of information object recognition]. *9th Conference (International) "Optoelectronic Devices and Equipment in Systems for Pattern Recognition, Image, and Symbolic Information Processing" Proceedings*. Kursk: YuZGU. 127–129.
5. Gershkovich, M. M., T. K. Biryukova, V. I. Sinitsin, V. S. Dolgoplov, M. Yu. Zai-kin, and L. M. Kozlova. 2011. Osobennosti organizatsii informatsionnogo obmena v mnogourovnevnykh territorial'no-raspredeleennykh sistemakh [Features of the organization of information exchange in multilevel geographically distributed systems]. *12th Science and Technology Conference (International) "Cybernetics and High Technology of the XXI Century" Proceedings*. Voronezh: Sakvoee. 1:1–12.
 6. Ionenkov, Yu. S. 2018. Nauchno-prakticheskie aspekty otsenki effektivnosti informatsionno-telekommunikatsionnykh sistem [Scientific and practical aspects of evaluating the effectiveness of information and telecommunication systems]. *Radarlocation, Navigation, Communication: 24th Scientific and Technical Conference (International) Proceedings*. Voronezh: Velborn. 1:140–149.
 7. Zatsarinnyy, A. A., and Yu. S. Ionenkov. 2019. Metod vybora varianta postroeniya informatsionno-telekommunikatsionnoy sistemy [Method for choosing an option for building an information-telecommunication system]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(3):5–20.
 8. Zatsarinnyy, A. A., and Yu. S. Ionenkov. 2020. Otsenka effektivnosti informatsionno-telekommunikatsionnykh sistem [Evaluation of the effectiveness of information and telecommunication systems]. Moscow: NIPKTs Voskhod-A. 120 p.
 9. Zatsarinnyy, A. A., and A. P. Suchkov. 2021. *Informatsionnoe vzaimodeystvie v raspredeleennykh sistemakh situatsionnogo upravleniya* [Information interaction in distributed systems of situational control]. Moscow: TORUS PRESS. 268 p.
 10. Zatsarinnyy, A. A., and Yu. S. Ionenkov. 2021. Nekotorye voprosy otsenki kachestva informatsionnykh sistem [Some issues of assessing the quality of information systems]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 31(4):4–17.

Received March 3, 2022

Contributors

Gershkovich Maksim M. (b. 1968) — senior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; makmg@mail.ru

Biryukova Tatiana K. (b. 1968) — Candidate of Science (PhD) in physics and mathematics, senior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; yukonta@mail.ru

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ: СРЕДЫ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ИНФОРМАТИКИ КАК ОСНОВАНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ ЕЕ ОБЪЕКТОВ*

*И. М. Зацман*¹

Аннотация: В стратегии Европейского компьютерного образования (ЕКО) (European digital education) принят диадический подход к преподаванию, а именно: с одной стороны, изучение информатики как самостоятельного предмета, с другой стороны, изучение информационных технологий (ИТ), методов и средств информатики, применяемых в других отраслях науки. При формировании стратегии ЕКО использовались результаты двухлетнего мониторинга состояния систем преподавания информатики в регионах и странах Европы, включая РФ, а также в Израиле. Теоретические основания стратегии ЕКО и информатики как образовательной дисциплины фрагментарно рассмотрены в отчете, содержащем итоги мониторинга. Описание предметной области информатики частично дано в публикациях, включая работы Нюгора, Деннинга и Розенблома, цитируемых в этом отчете. Нюгор в предметной области информатики выделяет сущности ментальной природы (концепты знания человека) и сенсорно воспринимаемые сущности (например, тексты на естественных языках). В статье предлагается вариант выделения сред из предметной области информатики на основе результатов Нюгора, Деннинга и Розенблома, который может служить развитием и интеграцией их подходов.

Ключевые слова: компьютерное образование; диадический подход к преподаванию; информатика как фундаментальная наука; информатика как образовательная дисциплина; стратегия преподавания информатики

DOI: 10.14357/08696527220408

1 Введение

Влияние средств, систем информатики и ИТ на проведение исследований в других отраслях знания существенно изменилось на рубеже веков. Описанию новой роли информатики в системе современного научного познания был, в частности, посвящен аналитический отчет по вопросам обеспечения конкурентоспособности США в XXI в., подготовленный в 2005 г. Консультативным комитетом по ИТ при Президенте США [1]. В этом отчете говорится о принципиальном изменении процесса научного познания: если раньше он включал две

* Исследование выполнено с использованием ЦКП «Информатика» ФИЦ ИУ РАН.

¹ Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, izatsman@yandex.ru

базовые составляющие — *теорию* и *эксперимент*, то сейчас практически во всех отраслях науки таких составляющих стало три — *теория*, *эксперимент* и *ИТ*, обеспечивающие проведение эксперимента.

Однако радикальное усиление влияния ИТ, методов и средств информатики на проведение исследований в других отраслях знания не было односторонним. Одновременно наблюдалось существенное видоизменение предметной области самой информатики, так как ИТ стали охватывать более широкий спектр сущностей разной природы (например, ИТ управления роботизированной рукой на основе анализа электрических потенциалов, генерируемых мозгом [2]), расширяя тем самым предметную область информатики. Пол Розенблум приводит следующее объяснение такого видоизменения: «если мы хотим описать все богатство взаимосвязей между мозгом и компьютером, нам необходимо рассмотреть кроме цифровой среды компьютерных кодов электрические потенциалы, генерируемые мозгом, и концепты знания человека, представленные этими потенциалами, что существенно расширяет границы предметной области информатики за счет сущностей ментальной природы (концепты) и нейросреды (электрические потенциалы, генерируемые мозгом)» [3].

Пол Розенблум рассматривал ИТ, включающие процессы трансформации сущностей разной природы в контексте деления современной системы научного познания на четыре отрасли знания, одной из которых была информатика [3]. При проектировании таких ИТ желательно использовать некоторую научную парадигму информатики как фундаментальную основу создания ИТ, которая могла бы применяться и в компьютерном образовании. В контексте деления всей науки на четыре отрасли знания сущности одной и той же природы изучаются в разных парадигмах нескольких научных дисциплин и отраслей науки. Например, концепты изучаются в задачах представления знания в информатике [4–6], они являются объектами исследований в науках о жизни [7] и социогуманитарных науках [8]. При этом они относятся к одной и той же среде: ментальной среде знания человека.

Формирование научной парадигмы информатики, которую можно было бы использовать в компьютерном образовании, представляет собой актуальную, но нерешенную проблему [9]. Согласно А. Соломонику, научная парадигма «зрелой» науки состоит из следующих четырех составляющих, которые могут разрабатываться отдельно, но объединяются в единую и цельную конструкцию [10, с. 23, 24]:

- (1) философские основания;
- (2) аксиоматика;
- (3) классификация исследуемых объектов (сущностей), процессов и явлений;
- (4) система терминов.

В статье предлагается деление предметной области информатики на среды разной природы, к которым принадлежат рассматриваемые сущности, в интересах формирования третьей составляющей научной парадигмы информатики.

Такое деление акцентирует внимание на различиях в природе сущностей, охватываемых проектируемыми ИТ, а также на интерфейсах, связывающих сущности разной природы.

Важно отметить, что еще в 1986 г. Кристен Ньюгор предложил в предметной области информатики разделять сущности ментальной природы (концепты знания человека) и сенсорно воспринимаемые сущности (например, тексты на естественных языках) [11], что может считаться прообразом предлагаемого выделения сред из предметной области информатики, каждая из которых включает сущности одной природы (например, ментальная среда концептов знания человека, цифровая среда компьютерных кодов, информационная среда сенсорно воспринимаемых объектов — текстов на естественных языках и рисунков).

Цель статьи — предложить вариант выделения сред из предметной области информатики, ориентированный на формирование классификации объектов информатики и ее последующее использование в компьютерном образовании согласно диадическому подходу стратегии ЕКО (которая описана в разд. 2). Предлагаемый вариант выделения сред предметной области (разд. 3) представляет собой интеграцию и развитие подходов Ньюгора [11] и Деннинга и Розенблюма [12], обусловленных кардинальным изменением роли информатики в системе научного познания в XXI в. [1].

2 Стратегия Европейского компьютерного образования

В работе [13] дано описание стратегии ЕКО, одобренной Европейским комитетом по информатике и Европейским советом ACM (Association for Computing Machinery), основанной на диадическом подходе к преподаванию информатики. Основная идея этого подхода состоит в том, что разделяются два направления преподавания информатики на всех уровнях образования. В рамках первого направления, получившего название «специализация», информатика изучается как самостоятельный предмет. В рамках второго направления, получившего название «интеграция», методы и средства информатики интегрируются в предметные области других наук через изменение их учебных программ. Реализация второго направления предполагает описание предметной области информатики и некоторого варианта ее позиционирования в системе научного познания.

Исходные данные для разработки стратегии содержатся в отчете [14], который включает результаты двухлетнего мониторинга состояния систем преподавания информатики в регионах и странах Европы, включая РФ, а также в Израиле. Авторы отчета анализируют состояние преподавания информатики, характеризуя эту дисциплину следующим образом: «В то время как естественные науки определяются применительно к миру, в котором мы живем, информатику как научную дисциплину определить сложнее; у нее нет эмпирических основ, как у естественных наук; это нечто большее, чем использование только логических выводов (как в математике); и это далеко не только сочетание инженерных принципов и технологий» [14, с. 7].

Для читателей этого отчета дополнительно даются ссылки на несколько публикаций с фрагментарным описанием предметной области информатики, включая работы Ньюгора [11] и Деннинга и Розенблюма [12]. Как будет показано в разд. 3, выбор этих публикаций авторами отчета по мониторингу, скорее всего, обусловлен именно тем, что в стратегии ЕКО принят диадический подход к преподаванию информатики.

Одна из целей авторов диадического подхода и стратегии ЕКО в целом — стимулировать общественное признание того, что информатика играет уникальную роль в сфере современного образования из-за принципиального изменения процесса познания, включающего ИТ как одну из трех базовых его составляющих (теория, эксперимент и ИТ). Такое изменение процесса обуславливает необходимость модернизации учебных программ по всем дисциплинам, что, по мнению авторов стратегии, должно обеспечить актуализацию сферы образования в XXI в. и эффективность преподавания всех дисциплин, но для этого нужно развивать теоретические основания информатики, включая создание классификации объектов (сущностей), процессов и явлений, исследуемых информатикой.

3 Отрасли науки и среды информатики

Реализация диадического подхода предполагает описание связей стратегии компьютерного образования с информатикой как фундаментальной наукой, включая необходимое развитие ее теоретических оснований [9]. Их развитие включает разрешение как минимум трех проблем, для которых в настоящее время нет готовых конвенциональных решений:

- (1) описание современной системы научного познания и позиционирование в ней информатики;
- (2) описание предметной области информатики;
- (3) создание классификации объектов (сущностей), процессов и явлений, исследуемых информатикой.

В стратегии ЕКО не описано ни место информатики в современной системе научного познания, ни ее предметная область, ни классификация ее объектов: необходимость разработки учебных программ для всех уровней компьютерного образования на основе диадического подхода сформулирована в ней без упоминания этих проблем [13]. Однако в отчете, который содержит итоги мониторинга систем компьютерного образования [14], использованные при разработке стратегии ЕКО, цитируются упомянутые выше публикации Ньюгора, Деннинга и Розенблюма, где предлагаются подходы к разрешению первых двух проблем.

Если Ньюгор предлагает *дефиницию информатики* и сопоставляет ее с другими научными дисциплинами [11], то Деннинг и Розенблюм предлагают подход к ее *позиционированию* в системе научного познания [12]. Остановимся на этих статьях подробнее, так как авторы отчета цитируют их, давая свою характеристику предметной области информатики. Идеи этих статей послужили основой для выделения сред разной природы из предметной области информатики.

В работе [12] все естественные науки группируются в три отрасли: физические науки (куда отнесены химия, геология и другие науки, изучающие неживую материю), науки о жизни и социальные науки. Отметим, что предметом группировки служат только естественные науки (science), а математику авторы этой работы таковой не считают. Для целей данной статьи добавим математику в первую отрасль и назовем ее *физико-математические науки*. Так как методы и средства информатики широко используются и в гуманитарных науках, то их добавим в третью отрасль и назовем ее *социогуманитарные науки*.

По мнению Деннинга и Розенблома [12], информатика (в их статье используется термин computing) плохо вписывается в три перечисленные отрасли (это утверждение остается справедливым и после добавления в них математики и гуманитарных наук). Хотя методы и средства информатики широко используются во всех трех отраслях науки, ни одна из них не изучает информационные трансформации как таковые — в этих отраслях в общем случае они не исследуются как связанные одновременно с физическими, живыми и социогуманитарными сущностями. Поэтому Деннинг и Розенблом предлагают рассматривать информатику как четвертую отрасль науки, тесно взаимодействующую с первыми тремя отраслями, в которой изучаются не только алгоритмы и структуры данных, но и информационные трансформации¹.

Развивая идеи, изложенные в [12], Розенблом в своей монографии [3] предложил обозначить четыре отрасли науки следующими литерами, которые будем использовать с учетом расширения первой и четвертой отраслей: физико-математические науки (P), науки о жизни (L), социогуманитарные науки (S) и информатика (C). Далее он рассматривает информационные трансформации, охватывающие две, три или четыре отрасли, включая информатику, обозначая соответствующие им предметные области сочетаниями этих литер и давая им следующие названия: диадический компьютеринг (C + P, C + L, C + S); триадический компьютеринг (C + P + S, C + P + L, C + L + S); тетрадический компьютеринг (P + S + L + C), который в данной статье трактуется как синоним *информатики*.

Далее он пишет: «Для описания взаимосвязей между мозгом и компьютером нам необходимо рассмотреть информационные трансформации, относящиеся ко *всей предметной области тетрадического компьютеринга* (P + S + L + C). Эти интерфейсы включают не только трансформации электрических потенциалов, генерируемых мозгом (L), и формирование компьютерных кодов (C), но также физические устройства (P), которые обеспечивают преобразование электрических потенциалов в коды компьютера, плюс концепты знания человека (S), представленные электрическими потенциалами, которые в конечном итоге и будут использоваться для управления компьютером или другими устройствами» [3].

¹В оригинале статьи используется словосочетание «transformations of representations» и говорится о необходимости его определения в будущем. При этом приводится частный случай этого словосочетания — «information-transforming process», перевод которого используется в данной статье.

Выделим из предметной области тетрадического компьютеринга (= информатика) среды разной природы, которые позволяют охватить широкий спектр информационных трансформаций в искусственных, живых и социальных системах, используя идеи Ньюгора [11]. В этой работе он предлагает следующую дефиницию термина «информатика»:

«Информатика — это наука, которая имеет своей областью [исследований] информационные процессы и *связанные с ними феномены в артефактах, обществе и природе* (курсив добавлен. — И. З.)» [11]. Далее дается ссылка на определение понятия «феномен» в словаре Webster 1960 года («любой факт, обстоятельство или событие, которые сенсорно воспринимаются и которые могут быть научно описаны или оценены» [15]).

Затем Ньюгор дает расширенное толкование этого понятия, которое кардинально отличается от определения в словаре Webster 1960 года: «Важными примерами феноменов являются: живые организмы, неодушевленные объекты (включая артефакты, такие как, например, машины), события и процессы (например, выполнение компьютерных программ). Мы также можем говорить о *когнитивных феноменах, происходящих в сознании людей*, в отличие от явных [сенсорно воспринимаемых] *феноменов, находящихся вне сознания* (курсив добавлен. — И. З.)» [11]. Толкование Кристена Ньюгора с делением феноменов на когнитивные (т. е. связанные с процессами познания, формирующими концепты знания человека) и сенсорно воспринимаемые (т. е. существующие вне сознания; например, тексты и рисунки) является концептуально новым подходом к определению информатики как науки.

В развитие идей Ньюгора, совокупность когнитивных феноменов, формируемых в процессах познания, происходящих в сознании людей (далее — концепты) предлагается назвать *ментальной средой* предметной области информатики. Совокупность сенсорно воспринимаемых феноменов, находящихся вне сознания, предлагается назвать *информационной средой* предметной области информатики. В ней предлагается выделить еще как минимум три компонента:

- (1) цифровая среда как совокупность компьютерных кодов¹;
- (2) нейросреда электрических потенциалов и магнитных полей, генерируемых мозгом, которые используются в ИТ управления роботизированной рукой [2] и других ИТ на основе интерфейсов «мозг–компьютер»;
- (3) ДНК-среда как совокупность цепочек РНК и ДНК².

¹В стратегии ЕКО о цифровой среде и связанных с ней феноменах сказано так: «Сегодняшний мир — цифровой. Информатика как наука, лежащая в основе развития цифрового мира, привела к трансформации и радикальному развитию профессий, научных дисциплин и общественной жизни. Как отдельная научная дисциплина информатика характеризуется своими собственными концепциями, методами и совокупностью знаний» [13, с. 5].

²Например, модели трансляции естественных ДНК, созданные микробиологами, используются при разработке методов записи и хранения данных с использованием синтезированных цепочек ДНК [16–19].

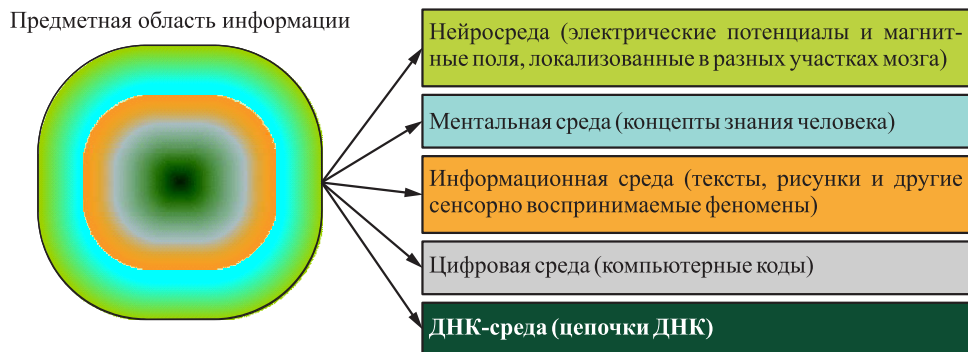


Рис. 1 Пять сред разной природы в предметной области информатики как тетрадического компьютеринга

Отметим, что 5 перечисленных сред неявно присутствуют в предметной области информатики как тетрадического компьютеринга (слева на рис. 1), но они не выделены и не описаны в работах [3, 12].

В работе [6] было показано, что в рамках предлагаемого подхода кроме пяти перечисленных из предметной области информатики могут быть выделены и включены в рассмотрение среды и другой природы, если при проектировании ИТ встретятся сущности, которые по своей природе не относятся ни к одной из ранее уже выделенных сред.

Предлагаемый подход к выделению сред из предметной области дает возможность и при проектировании ИТ, и в процессе преподавания информатики на основе диадического подхода увидеть весь спектр интерфейсов между сущностями выделенных сред. Проиллюстрируем эту возможность на примере четырех из пяти перечисленных сред (кроме ДНК-среды) из работы [20].

Рисунок 2 включает широкий спектр интерфейсов, которые теоретически могут встретиться при проектировании ИТ. Они охватывают сущности нейросреды (электрические потенциалы и магнитные поля, генерируемые мозгом), ментальной (концепты знания человека), информационной (например, тексты) и цифровой (компьютерные коды) сред.

На границах между двумя смежными средами кружками условно обозначены интерфейсы 2-го порядка (они пронумерованы числами от 1 до 6), а в точках соприкосновения границ трех сред показаны интерфейсы 3-го порядка (7–10), которые, по определению из работы [2], обеспечивают связи между объектами (сущностями), принадлежащими трем средам разной природы. Интерфейс № 11 (4-го порядка) не показан на рис. 2.

Из 11 видов интерфейсов, которые теоретически могут встретиться при проектировании ИТ, охватывающих сущности четырех перечисленных сред, наиболее широко используется интерфейс 2-го порядка № 3. В информационных

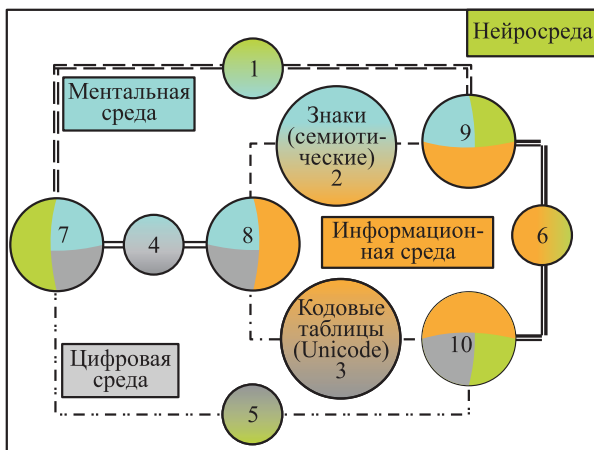


Рис. 2 Четыре среды разной природы, границы между ними и точки их соприкосновения

системах применяются кодовые таблицы, например Unicode, которые служат наиболее распространенным способом реализации этого интерфейса.

В системах организации знания интерфейс 2-го порядка № 2 используется, например, для разрешения лексической неоднозначности, например с помощью тезаурусов [21–23]. Из интерфейсов 3-го порядка № 7 применяется в технологиях управления роботизированной рукой [2, 3]. Интерфейс № 8 явно или неявно применяется при кодировании значений многозначных языковых единиц в информационных системах.

В заключение этого раздела еще раз отметим, что предлагаемый вариант выделения сред из предметной области информатики оставляет открытым вопрос о числе этих сред и, конечно, не решает проблему создания классификации объектов (сущностей), процессов и явлений, исследуемых информатикой.

Предлагаемый вариант выделения сред может служить основанием для формирования верхнего уровня классификации, на котором объекты (сущности) информатики группируются в соответствии с их природой. Кроме того, если в будущем появится необходимость в проектировании ИТ, охватывающих 6 или более видов сущностей разной природы, то предлагаемый подход к выделению сред покажет весь спектр интерфейсов, которые теоретически может понадобиться реализовать в этих ИТ.

4 Заключение

Согласно авторам стратегии ЕКО, информатику следует рассматривать как дисциплину, не менее важную в системе образования, чем математика, естественные науки и иностранные языки [24], что, по их мнению, не нашло адекватного

отклика в нормативно-правовых актах Еврокомиссии (ЕК). В январе 2018 г. ЕК опубликовала «План действий в области компьютерного образования» [25, 26]¹, в котором определен ряд приоритетов. Приоритет, который можно считать наиболее релевантным рассмотренной стратегии ЕКО, называется «Развитие цифровых компетенций и навыков для цифровой трансформации».

В этом Плате предлагается следующий способ реализации этого приоритета — «Ввести занятия по программированию во всех школах Европы». По мнению авторов работы [24], это важно, но явно недостаточно. Возможная причина такого несоответствия приоритетов Плана стратегии ЕКО состоит в том, что для реализации ее второго направления под названием «интеграция» необходимо существенное развитие теоретических оснований информатики в интересах создания ее научной парадигмы.

В статье предложен вариант выделения сред из предметной области информатики как основание для формирования верхнего уровня классификации, группирующего объекты (сущности) информатики в соответствии с их природой. Предлагаемый вариант как развитие подходов Ньюгора [11] и Деннинга и Розенблюма [12] ориентирован на преодоление существующей фрагментарности преподавания информатики [28] и создание третьей составляющей ее научной парадигмы в интерпретации понятия «зрелая» наука, предложенной А. Соломоном [10].

Литература

1. Computational science: Ensuring America's competitiveness. — Arlington, VA, USA: National Coordination Office for Information Technology Research and Development, 2005. Report to the President. 104 p. http://www.nitrd.gov/pitac/reports/20050609_computational/computational.pdf.
2. Зацман И. М. Интерфейсы третьего порядка в информатике // Информатика и её применения, 2019. Т. 13. Вып. 3. С. 82–89.
3. Rosenbloom P. S. On computing: The fourth great scientific domain. — Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2013. 308 p.
4. Зацман И. М., Косарик В. В., Курчавова О. А. Задачи представления личностных и коллективных концептов в цифровой среде // Информатика и её применения, 2008. Т. 2. Вып. 3. С. 54–69.
5. Zatsman I. Tracing emerging meanings by computer: Semiotic framework // 13th European Conference on Knowledge Management Proceedings. — Reading: Academic Publishing International Ltd., 2012. Vol. 2. P. 1298–1307.
6. Зацман И. М. Таблица интерфейсов информатики как информационно-компьютерной науки // Научно-техническая информация. Сер. 1: Организация и методика информационной работы, 2014. № 11. С. 1–15.
7. Baars B., Gage N. Cognition, brain, and consciousness: Introduction to cognitive neuroscience. — Amsterdam: Academic Press/Elsevier, 2010. 677 p.

¹Существует также новый вариант Плана действий ЕК в области компьютерного образования (2021–2027) [27].

8. *Eco U.* A theory of semiotics. — Bloomington, IN, USA: Indiana University Press, 1976. 356 p.
9. *Tedre M., Pajunen J.* Grand theories or design guidelines? Perspectives on the role of theory in computing education research // *ACM T. Comput. Educ.*, 2022. doi: 10.1145/3487049.
10. *Соломоник А.* Парадигма семиотики. — Минск: MET, 2006. 335 с.
11. *Nygaard K.* Program development as a social activity // 10th World Computer Congress Proceedings / Ed. H.-J. Kugler. — North Holland: Elsevier Science Pubs. B.V., IFIP, 1986. P. 189–198.
12. *Denning P., Rosenbloom P.* Computing: The fourth great domain of science // *Commun. ACM*, 2009. Vol. 52. No. 9. P. 27–29.
13. *Caspersen M.E., Gal-Ezer J., McGettrick A., Nardelli E.* Informatics for all: The strategy. — New York, NY, USA: ACM, 2018. 16 p. <https://www.acm.org/binaries/content/assets/public-policy/acm-europe-ie-i4all-strategy-2018.pdf>.
14. The Committee on European Computing Education. Informatics Education in Europe: Are we all in the same boat? — New York, NY, USA: ACM, 2017. Technical Report. 251 p. <https://portalparts.acm.org/hippo/cecereport.pdf>.
15. Webster's New World Dictionary of the American language / Eds. D. B. Gurelnik, J. H. Friend. — New York, NY, USA: The World Publishing Co., 1960. 1760 p.
16. *Kari L., Rozenberg G.* The many facets of natural computing // *Commun. ACM*, 2008. Vol. 51. Iss. 10. P. 72–83.
17. *Ailenberg M., Rotstein O.D.* An improved Huffman coding method for archiving text, images, and music characters in DNA // *BioTechniques*, 2009. Vol. 47. Iss. 3. P. 747–754.
18. *Denning P.* The science in computer science // *Commun. ACM*, 2013. Vol. 56. Iss. 5. P. 35–38.
19. *Мавлетова А. И., Стефанова Н. А.* ДНК как альтернатива для хранения больших данных // *Актуальные вопросы современной экономики*, 2022. Вып. 5. С. 740–743.
20. *Зацман И. М.* Средовые модели информационных технологий: теоретические основания построения // *Информатика и её применения*, 2022. Т. 16. Вып. 3. С. 59–67.
21. *Bolshina A., Loukachevitch N.* Generating training data for word sense disambiguation in Russian // *Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: По материалам ежегодной Междунар. конф. «Диалог-2020»*. — М.: РГГУ, 2020. С. 119–132.
22. *Bolshina A., Loukachevitch N.* All-words word sense disambiguation for Russian using automatically generated text collection // *Cybernetics Information Technologies*, 2020. Vol. 20. No. 4. С. 90–107.
23. *Bolshina A., Loukachevitch N.* Automatic labelling of genre-specific collections for word sense disambiguation in Russian // *Artificial intelligence* / Eds. S. O. Kuznetsov, A. I. Panov, and K. S. Yakovlev. — Lecture notes in computer science ser. — Cham: Springer, 2020. Vol. 12412. P. 215–227.
24. *Caspersen M.E., Gal-Ezer J., McGettrick A., Nardelli E.* Informatics as a fundamental discipline for the 21st century // *Commun. ACM*, 2019. Vol. 62. No. 4. P. 58–63.
25. The European Commission. Communication on the First Digital Education Action Plan, 2018. 18 p. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0022&from=EN>.

26. The European Commission. Communication on the First Digital Education Action Plan. Commission staff working document, 2018. 31 p. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018SC0012&from=EN>.
27. The European Commission. Digital Education Action Plan (2021–2027). <https://education.ec.europa.eu/ru/focus-topics/digital-education/action-plan>.
28. Мундзаева Э. В., Бешенков С. А. Современный общеобразовательный курс информатики в школе и вузе: методические подходы к развитию содержания // Открытое образование, 2015. № 3(110). С. 8–18.

Поступила в редакцию 14.09.22

THEORETICAL FOUNDATIONS OF DIGITAL EDUCATION: SUBJECT DOMAIN MEDIA OF INFORMATICS AS THE BASE OF ITS OBJECTS' CLASSIFICATION

I. M. Zatsman

Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

Abstract: The strategy of European digital education (EDE) adopted a dyadic approach to teaching, namely, on the one hand, the study of informatics as an independent discipline, and, on the other hand, the study of information technology, methods, and means of informatics used in other branches of science. The results of a two-year monitoring of the state of informatics teaching systems in the regions and countries of Europe, including the Russian Federation, as well as in Israel, were used in the formation of the strategy of EDE. The theoretical foundations of the EDE strategy and informatics are fragmentally considered in a report containing the results of the monitoring. The description of the subject domain of informatics is partially given in papers, including the works of Nygaard, Denning, and Rosenbloom, cited in the report. In the subject domain of informatics, Nygaard distinguishes entities of mental nature (concepts of human knowledge) and sensory-perceived entities (for example, texts in natural languages). The paper proposes to separate out media from the subject domain of informatics based on the approaches of Nygaard, Denning, and Rosenbloom.

Keywords: digital education; dyadic approach; informatics as a fundamental science; informatics as an educational discipline; strategy of teaching informatics

DOI: 10.14357/08696527220408

Acknowledgments

The research was carried out using infrastructure of shared research facilities CKP “Informatics” of FRC CSC RAS.

References

1. Computational science: Ensuring America's competitiveness. Arlington, VA: National Coordination Office for Information Technology Research and Development, 2005. Report to the President. 104 p. Available at: http://www.nitrd.gov/pitac/reports/20050609_computational/computational.pdf (accessed January 12, 2022).
2. Zatsman, I. M. 2019. Interfeysy tret'ego poryadka v informatike [Third-order interfaces in informatics]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 13(3):82–89.
3. Rosenbloom, P. 2013. *On computing: The fourth great scientific domain*. Cambridge, MA: MIT Press. 308 p.
4. Zatsman, I., V. Kosarik, and O. Kurchavova. 2008. Zadachi predstavleniya lichnostnykh i kollektivnykh kontseptov v tsifrovoy srede [Problems of representation of personal and collective concepts in the digital medium]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 2(3):54–69.
5. Zatsman, I. 2012. Tracing emerging meanings by computer: Semiotic framework. *13th European Conference on Knowledge Management Proceedings*. Reading: Academic Publishing International Ltd. 2:1298–1307.
6. Zatsman, I. 2014. Table of interfaces of informatics as computer and information science. *Scientific Technical Information Processing* 41(4):233–246.
7. Baars, B., and N. Gage. 2010. *Cognition, brain, and consciousness: Introduction to cognitive neuroscience*. Amsterdam: Academic Press/Elsevier. 677 p.
8. Eco, U. 1976. *A theory of semiotics*. Bloomington, IN: Indiana University Press. 356 p.
9. Tedre, M., and J. Pajunen. 2022. Grand theories or design guidelines? Perspectives on the role of theory in computing education research. *ACM T. Comput. Educ.* doi: 10.1145/3487049.
10. Solomonik, A. 2006. *Paradigma semiotiki* [The paradigm of semiotics]. Minsk: MET Publs. 335 p.
11. Nygaard, K. 1986. Program development as a social activity. *10th World Computer Congress Proceedings*. Ed. H.-J. Kugler. North Holland: Elsevier Science Publs. B.V., IFIP. 189–198.
12. Denning, P., and P. Rosenbloom. 2009. Computing: The fourth great domain of science. *Commun. ACM* 52(9):27–29.
13. Caspersen, M. E., J. Gal-Ezer, A. McGettrick, and E. Nardelli. 2018. *Informatics for all: The strategy*. New York, NY: ACM. 16 p. Available at: <https://www.acm.org/binaries/content/assets/public-policy/acm-europe-ie-i4all-strategy-2018.pdf> (accessed October 31, 2022).
14. The Committee on European Computing Education. 2017. Informatics education in Europe: Are we all in the same boat? New York, NY: ACM. Technical Report. 251 p. Available at: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=3106077> (accessed September 26, 2022).
15. Guralnik, D. B., and J. H. Friend, eds. 1960. *Webster's New World Dictionary of the American language*. New York, NY: The World Publishing Co. 1760 p.
16. Kari, L., and G. Rozenberg. 2008. The many facets of natural computing. *Commun. ACM* 51(10):72–83.

17. Ailenberg, M., and O. D. Rotstein. 2009. An improved Huffman coding method for archiving text, images, and music characters in DNA. *BioTechniques* 47(3):747–754.
18. Denning, P. 2013. The science in computer science. *Commun. ACM* 56(5):35–38.
19. Mavletova, A. I., and N. A. Stefanova. 2022. DNK kak al'ternativa dlya khraneniya bol'shikh dannyykh [DNA as an alternative for storing big data]. *Aktual'nye voprosy sovremennoy ekonomiki* [Actual Issues of the Modern Economy] 5:740–743.
20. Zatsman, I. 2022. Sredovye modeli informatsionnykh tekhnologiy: teoreticheskie osnovaniya postroeniya [Informatics' medium models of information technology: Theoretical foundations for their creating]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 16(3):59–67.
21. Bolshina, A., and N. Loukachevitch. 2020. Generating training data for word sense disambiguation in Russian. *Computer Linguistic and Intellectual Technologies: Conference (International) "Dialog" Proceedings*. Moscow. 119–132.
22. Bolshina, A., and N. Loukachevitch. 2020. All-words word sense disambiguation for Russian using automatically generated text collection. *Cybernetics Information Technologies* 20(4):90–107.
23. Bolshina, A., and N. Loukachevitch. 2020. Automatic labelling of genre-specific collections for word sense disambiguation in Russian. *Artificial intelligence*. Eds. S. O. Kuznetsov, A. I. Panov, and K. S. Yakovlev. Lecture notes in computer science ser. Cham: Springer. 12412:215–227.
24. Caspersen, M. E., J. Gal-Ezer, A. McGettrick, and E. Nardelli. 2019. Informatics as a fundamental discipline for the 21st century. *Commun. ACM* 62(4):58–63.
25. The European Commission. 2018. Communication on the first digital education action plan. 18 p. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018SC0012&from=EN> (accessed September 26, 2022).
26. The European Commission. 2018. Communication on the first digital education action plan. Commission staff working document. 31 p. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0022&from=EN> (accessed September 26, 2022).
27. The European Commission: Digital Education Action Plan (2021–2027). Available at: <https://education.ec.europa.eu/ru/focus-topics/digital-education/action-plan> (accessed September 26, 2022).
28. Mindzaeva, E. V., and S. A. Beshenkov. 2015. Sovremennyy obshcheobrazovatel'nyy kurs informatiki v shkole i vuze: metodicheskie podkhody k razvitiyu sodержaniya [A modern comprehensive course at school and university: Approaches to the content development]. *Otkrytoe obrazovanie* [Open Education] (3):8–18.

Received September 14, 2022

Contributor

Zatsman Igor M. (b. 1952) — Doctor of Science in technology, head of department, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; izatsman@yandex.ru

НАЦИОНАЛЬНЫЕ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ СЕТИ СТРАН ЕВРАЗИЙСКОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО СОЮЗА: ТЕКУЩИЙ СТАТУС И ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРАЦИИ*

*А. Г. Абрамов¹, А. А. Гончар², А. В. Евсеев³, А. Т. Идрисов⁴, Д. В. Новик⁵,
Б. М. Шабанов⁶*

Аннотация: Тематика статьи отсылает к систематизации и обсуждению сложившихся предпосылок и перспектив создания ассоциации национальных научно-образовательных сетей стран Евразийского экономического союза (ЕАЭС). Затрагиваются некоторые аспекты цифровой трансформации сферы науки и образования и роли в ней отраслевых телекоммуникационных сетей. Приводятся актуальные характеристики национальных научно-образовательных сетей стран ЕАЭС, ключевые элементы разработанной концепции создания, обеспечения функционирования и развития сетевой ассоциации. Обсуждаются предлагаемые технологические решения для формирования телекоммуникационной инфраструктуры, дается прогноз ожидаемых эффектов от создания ассоциации и дальнейшего развития проекта.

Ключевые слова: национальная научно-образовательная сеть; NREN; ЕАЭС; национальная исследовательская компьютерная сеть; НИКС; KazRENA; телекоммуникационная инфраструктура; ассоциация научно-образовательных сетей

DOI: 10.14357/08696527220409

1 Введение

Национальную научно-образовательную сеть (National Research and Education Network, NREN) в рамках общемирового опыта функционирования и эволюционного развития принято рассматривать как информационно-телекоммуникационную сеть, высокопроизводительную информационно-коммуникационную

* Работа выполнена в МСЦ РАН в рамках государственного задания по теме FNEF-2022-0014.

¹ Санкт-Петербургское отделение Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук — филиала ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, abramov@niks.su

² Межведомственный суперкомпьютерный центр Российской академии наук — филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, andrey.gonchar@jscs.ru

³ Санкт-Петербургское отделение Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук — филиала ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, evseev@niks.su

⁴ Ассоциация пользователей научно-образовательной компьютерной сети Казахстана «KazRENA», idrissov@kazrena.kz

⁵ Межведомственный суперкомпьютерный центр Российской академии наук — филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, dvnovik@niks.su

⁶ Межведомственный суперкомпьютерный центр Российской академии наук — филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, shabanov@jscs.ru

инфраструктуру масштаба страны, которая эксплуатируется в интересах науки и образования, обеспечивает доступ пользователей в глобальное цифровое пространство, связность с зарубежными NREN, служит интеграционной платформой для развития цифровых сервисов и их централизованного предоставления [1–3].

Сегодня NREN, существуя во многих странах мира, функционируют в качестве важных компонентов национальных цифровых инфраструктур, представляют страны в международных проектах, выполняемых с использованием современных средств телекоммуникаций, сетевых технологий, специализированных инфраструктурных и прикладных сервисных решений.

Межгосударственные ассоциации NREN исторически создавались в целях повышения эффективности реализации международных научно-образовательных и научно-технических проектов, интенсификации взаимной кооперации. Широко известные в кругу специалистов ассоциации NREN — GÉANT (Европа) [3] и NORDUnet (Скандинавские страны) [2].

Государства-члены ЕАЭС ориентированы на ускоренную технологическую модернизацию и переход к цифровой экономике. Особая роль в реализации программ цифровой трансформации отводится науке и образованию, к тому же сами эти отрасли являются первоочередными объектами преобразований. В этих условиях на первый план выходят тесная интеграция и скоординированные усилия стран.

Интенсивное развитие в последние десятилетия цифровых технологий в научной сфере, прежде всего сетевых и телекоммуникационных систем, сервисных решений, новые принципы финансирования, требования бизнеса и общества приводят к изменению форм и методов научного процесса. Тенденции современной науки направлены на совершенствование традиционных практик, появление новых моделей сотрудничества в рамках концепции открытой науки.

Технологический прогресс изменяет конфигурацию науки, появляются рынки с принципиально новыми форматами применения ее достижений в экономике. Расширение доступа к базам научных знаний, результатам исследований, гарантии их прозрачности, применение сетевых технологий стали основными катализаторами процессов перехода к открытой науке.

Принимая во внимание имеющиеся у стран ЕАЭС исследовательские и организационные ресурсы, научно-технический потенциал, накопленные знания и опыт, представляется целесообразным расширить взаимодействие NREN стран. Выстраивание взаимодействия сетей на принципиально новом уровне и их интеграция могут стать фундаментом для создания и дальнейшего развития масштабного проекта — евразийского объединения NREN, по аналогии с успешным опытом других отраслевых ассоциаций.

Необходимость такого объединения отражает современные тенденции к интеграции сетей и весьма своевременно в связи с интеграционными процессами стран ЕАЭС. Требуется содержательный пересмотр существующих практик и моделей взаимодействия науки в странах союза с учетом темпов цифровизации, глобализации NREN и интернационализации научного обмена. В целях развития

компетенций, опыта и международной практики научным и образовательным организациям стран целесообразно интенсивнее вовлекаться в использование ресурсов и сервисов NREN, принимать участие в их создании и внедрении. Новое сетевое объединение позволит организациям активнее и на равноправных условиях участвовать в мировых и европейских научных коллаборациях и проектах.

2 Текущее состояние национальных научно-образовательных сетей стран Евразийского экономического союза

Приведем некоторые сведения о текущем состоянии NREN стран ЕАЭС, начав с перечисления их названий, устоявшихся аббревиатур и веб-сайтов:

Российская Федерация — Национальная исследовательская компьютерная сеть нового поколения (НИКС, <https://niks.su>);

Республика Казахстан — Ассоциация пользователей научно-образовательной компьютерной сети Казахстана (KazRENA, <http://kazrena.kz>);

Республика Армения — Академическая научно-исследовательская компьютерная сеть Армении (ASNET-AM, <https://www.asnet.am>);

Республика Беларусь — Научно-информационная компьютерная сеть Национальной академии наук Беларуси (BASNET, <https://www.bas-net.by>);

Кыргызская Республика — Кыргызская научная и образовательная компьютерная сеть (КНОКС, KRENA, <http://krena.kg>).

Базовыми организациями, администраторами и операторами сетей выступают институты национальных академий наук стран. Юридический статус всех NREN, кроме российской, — ассоциация, объединение юридических лиц. НИКС была создана в 2019 г. в результате объединения функционировавших с 1994 г. научно-образовательных сетей RUNNet и RASNet и стала проектом федерального уровня, выполняемым Межведомственным суперкомпьютерным центром РАН по целевому заданию Минобрнауки России [4–6]. Некоторые характеристики NREN стран ЕАЭС сведены в таблицу.

Среди типов организаций, подключенных к NREN стран союза, преобладают университеты и научные институты; в меньшей степени — учреждения культуры и здравоохранения, организации среднего профессионального и дополнительного образования, школы, государственные органы.

В ряду функционирующих и развиваемых сервисов NREN чаще всего фигурируют сервисы федеративной аутентификации (eduroam, eduGAIN), облачные сервисы различных моделей предоставления, сервисы сетевой и информационной безопасности, хостинг систем дистанционного обучения, сервисы видеоконференцсвязи и некоторые другие.

Следует констатировать, что сегодня существенная в общем объеме часть передовых научных установок, суперкомпьютерных центров, центров коллективного пользования научным оборудованием, отраслевых цифровых платформ,

Некоторые характеристики NREN стран ЕАЭС

Название NREN	Год создания	Число подключенных организаций	Распределение числа организаций по скорости подключения	Протяженность, км; пропускная способность опорной инфраструктуры, Гбит/с	Скорость подключения к GÉANT, Гбит/с
НИКС	2019 (1994)	216	≥ 1 Гбит/с — 133; 500–1000 Мбит/с — 11; < 500 Мбит/с — 72	> 10 000; 10...40	10
KazRENA	2001	60	≥ 1 Гбит/с — 4; 500–1000 Мбит/с — 56	90; 10	1
ASNET-AM	1994	65	≥ 1 Гбит/с — 5; 500–1000 Мбит/с — 60	57; —	2
BASNET	1996	98	≥ 1 Гбит/с — 2; 500–1000 Мбит/с — 51; < 500 Мбит/с — 45	50; 10	10
KRENA	2002	64	< 500 Мбит/с — 64	97; 1	Не подключена

научных и образовательных ресурсов сконцентрирована в России; объективно имеет место определенный разрыв в уровне развития науки и цифровизации между странами ЕАЭС. Остальные страны союза испытывают острую потребность в высокопроизводительных вычислительных ресурсах, облачных хранилищах, в доступе к научным установкам, накопленным базам научных данных, электронным библиотекам и цифровым коллекциям, качественному научно-образовательному контенту.

3 Предпосылки к созданию Ассоциации национальных научно-образовательных сетей стран Евразийского экономического союза

В настоящее время ЕАЭС реализует «цифровую повестку до 2025 г.», устанавливающую ключевые направления углубления взаимодействия при развитии цифровизации, определяющую сотрудничество при формировании цифровой экономики и запуске инновационных проектов. В ряду направлений реализации повестки — развитие цифровой инфраструктуры и обеспечение защищенности цифровых процессов, включая безопасность критической инфраструктуры, создание сетей последнего поколения и формирование трансграничного пространства доверия. Важное место занимает научное и образовательное сотрудничество стран, одной из главных целей которого ставится формирование и развитие единого цифрового пространства.

Цифровая трансформация открывает целый ряд возможностей для интеграционных процессов в рамках ЕАЭС. Страны союза обладают собственными технологическими наработками, которые могут быть предложены к использо-

ванию для организации совместной научной, образовательной и технической деятельности; в числе таких заделов — собственно функционирующие NREN и отдельные цифровые платформы национального уровня. Создание Ассоциации NREN как базовой компоненты и основы для совместной деятельности должно способствовать евразийской цифровой интеграции для расширения сотрудничества в сфере науки и образования, в различных областях экономики.

Инициатива создания объединенной Ассоциации NREN стран ЕАЭС поддержана Президиумом Научно-технического совета при Председателе Коллегии Евразийской экономической комиссии в 2021 г. Представителями NREN разработана Концепция создания, обеспечения функционирования и развития Ассоциации NREN стран союза и «дорожная карта» по ее реализации. В соответствии с Концепцией, миссия Ассоциации — внесение существенного вклада в достижение целей цифровой трансформации науки и образования, цифрового единства путем объединения актуальных инициатив в сфере цифровизации и создания необходимых для их реализации условий в рамках объединения усилий и существующих технологических решений с реализацией устойчивой отраслевой информационно-коммуникационной инфраструктуры в интересах стран.

В числе основных целей Ассоциации можно выделить:

- обеспечение функционирования инфраструктурно-сервисной платформы на базе NREN стран с разработкой и предоставлением сетевых услуг и сервисов научно-образовательному сообществу ЕАЭС и третьих стран;
- содействие NREN в инновациях по разработке и использованию технологий и других возможностей в области передовых сетевых, информационных и связанных с ними цифровых сервисов;
- координация совместных проектов NREN и организаций стран, занимающихся научными исследованиями и образованием;
- обеспечение безбарьерного доступа организаций науки и образования стран и иных субъектов научно-технологического процесса к достижениям современной науки и результатам научной деятельности;
- формирование единого цифрового пространства в целях унификации и стандартизации отраслевого взаимодействия и преодоления цифрового разрыва;
- предоставление возможностей высокоскоростного обмена данными с мировыми NREN, сетевыми ассоциациями и отдельными проектами;
- интеграция информационно-коммуникационных систем организаций науки и образования стран ЕАЭС;
- содействие использованию единой информационно-коммуникационной инфраструктуры и сервисов для совместных исследований и образовательных программ;

- содействие установлению единых правил и норм по вопросам технического, тактического и стратегического развития, управления и использования сетевых технологий и сервисов, обмена данными и сопутствующих услуг для научно-образовательного сообщества стран;
- совершенствование знаний, навыков и компетенций в области развития телекоммуникационных сетей, информационных технологий и связанной с ними цифровой инфраструктуры в странах союза.

В проработке находятся технологические решения для инфраструктуры Ассоциации, учитывающие нормативные регуляторные требования стран, особенности осуществления NREN лицензионной деятельности как операторов связи. В качестве оптимального решения для формирования технологической инфраструктуры рассматривается создание единой сети передачи данных, построенной на базе прямого межсетевого взаимодействия NREN без транзита трафика через сети связи общего пользования. Решение должно учитывать технологические и иные особенности предоставления услуг связи на территории стран и базироваться на устойчивой телекоммуникационной инфраструктуре, отвечающей современным требованиям по качеству и пропускной способности каналов передачи данных.

Пропускная способность межгосударственных трансграничных каналов связи на начальном этапе должна удовлетворять взвешенным потребностям и соответствовать уровню пропускных способностей магистральных участков NREN. При построении инфраструктуры может быть предусмотрена возможность организации совместных узлов связи объединенной магистральной сети в каждой из стран для обеспечения более высокого уровня технологического взаимодействия и повышения отказоустойчивости.

Эксплуатация инфраструктуры должна находиться в зоне ответственности NREN на территории соответствующей страны и в рамках организованных ею межгосударственных каналов связи. Ключевые компоненты общей инфраструктуры должны быть включены в общую систему мониторинга и управления сетью и сопровождаться специалистами единого центра управления, функционирующего на принципах технологической иерархии распределения задач по эксплуатации и технической поддержке.

4 Заключение

В заключение стоит заметить, что создание, обеспечение функционирования и поступательного развития Ассоциации NREN стран ЕАЭС позволит решить следующие задачи, представляющиеся авторам весьма важными:

- создание единой телекоммуникационной инфраструктуры NREN стран;
- создание востребованных совместно используемых ресурсов и сервисов для проведения научных исследований и разработок;

- формирование ассоциации уровня ведущих мировых сетевых объединений с целью паритетного осуществления деятельности на евразийской территории, совместного и согласованного взаимодействия с зарубежными NREN и их ассоциациями;
- внедрение и расширение использования системы федеративной аутентификации для взаимодействия ученых и исследователей стран;
- разработка рекомендаций и методических документов по информатизации научной деятельности и образовательного процесса стран.

Авторы выражают благодарность руководству NREN стран ЕАЭС за деятельное участие при подготовке отдельных материалов для статьи.

Литература

1. *Allocchio C., Balint L., Berkhout V., et al.* A history of international research networking: The people who made it happen. — New York, NY, USA: Wiley-VCH, 2010. 317 p.
2. *Lehtisalo K.* The history of NORDUnet: Twenty-five years of networking cooperation in the Nordic countries. <http://www.nordu.net/history/book.html>.
3. GÉANT: The case for NRENs. A repository of resources to support funding, advocacy and the advancement of national and regional R&E networks. <https://casefornrens.org>.
4. *Абрамов А. Г., Евсеев А. В.* Концептуальные аспекты создания в Российской Федерации национальной исследовательской компьютерной сети нового поколения // Информационные технологии, 2019. Т. 25. № 12. С. 724–733. doi: 10.17587/it.25.724-733.
5. *Абрамов А. Г., Гончар А. А., Евсеев А. В., Шабанов Б. М.* Национальная исследовательская компьютерная сеть нового поколения: текущее состояние и концепция развития // Информационные технологии, 2021. Т. 27. № 3. С. 115–124. doi: 10.17587/it.27.115-124.
6. *Abramov A. G., Evseev A. V., Gonchar A. A.* National Research and Education Network of Russia: Directions of development in the context of expanding of international cooperation // CEUR Workshop Procee., 2021. Vol. 3041. P. 338–341.

Поступила в редакцию 11.05.22

NATIONAL RESEARCH AND EDUCATION NETWORKS OF THE EURASIAN ECONOMIC UNION COUNTRIES: CURRENT STATUS AND PERSPECTIVES OF INTEGRATION

*A. G. Abramov¹, A. A. Gonchar², A. V. Evseev¹, A. T. Idrisov³, D. V. Novik²,
and B. M. Shabanov²*

¹St. Petersburg Department of Joint Supercomputer Center of the Russian Academy of Sciences — Branch of Federal State Institution “Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences,” 14 Smolenska River Emb., St. Petersburg 195251, Russian Federation

²Joint Supercomputer Center of the Russian Academy of Sciences — Branch of Federal State Institution “Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences,” 32a Leninsky Prosp., Moscow 119334, Russian Federation

³Kazakhstan Research and Education Networking Association, 16-18 Satpaeva Str., Almaty 050013, Republic of Kazakhstan

Abstract: The topic of the paper refers to the systematization and discussion of the prevailing prerequisites and prospects for the creation of an association of national research and education networks of the Eurasian Economic Union (EAEU) countries. Some aspects of the digital transformation of the sphere of science and education and the role of sectoral telecommunications networks in it are touched upon. The current characteristics of the national research and education networks of the EAEU countries, the key components of the developed concept of creating, ensuring the functioning and development of the network association are given. The proposed technological solutions for the formation of the telecommunications infrastructure are discussed; a forecast of the expected effects from the creation of the association and the further development of the project is given.

Keywords: National Research and Education Network; NREN; EAEU; National Research Computer Network; NIKS; KazRENA; telecommunications infrastructure; association of research and education networks

DOI: 10.14357/08696527220409

Acknowledgments

The work was carried out at the JSCC RAS as a part of the government assignment (topic FNEF-2022-0014).

References

1. Allocchio, C., L. Balint, V. Berkhout, *et al.* 2010. *A history of international research networking: The people who made it happen*. New York, NY: Wiley-VCH. 317 p.
2. The history of NORDUnet: Twenty-five years of networking cooperation in the Nordic countries. Available at: <http://www.nordu.net/history/book.html> (accessed September 14, 2022).

3. GÉANT: The case for NREns. A repository of resources to support funding, advocacy and the advancement of national and regional R&E networks. Available at: <https://caseforrens.org> (accessed September 14, 2022).
4. Abramov, A. G., and A. V. Evseev. 2019. Kontseptual'nye aspekty sozdaniya v Rossiyskoy Federatsii Natsional'noy issledovatel'skoy komp'yuternoy seti novogo pokoleniya [Conceptual aspects of creating the New Generation National Research Computer Network in the Russian Federation]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies] 25(12):724–733. doi: 10.17587/it.25.724-733.
5. Abramov, A. G., A. A. Gonchar, A. V. Evseev, and B. M. Shabanov. 2021. Natsional'naya issledovatel'skaya komp'yuternaya set' novogo pokoleniya: tekushchee sostoyaniye i kontseptsiya razvitiya [The New Generation National Research Computer Network: Current status and concept for the development]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technologies] 27(3):115–124. doi: 10.17587/it.27.115-124.
6. Abramov, A. G., A. V. Evseev, and A. A. Gonchar. 2021. National Research and Education Network of Russia: Directions of development in the context of expanding of international cooperation. *CEUR Workshop Procee.* 3041:338–341.

Received May 11, 2022

Contributors

Abramov Alexey G. (b. 1976) — Candidate of Science (PhD) in physics and mathematics, assistant professor, leading scientist, St. Petersburg Department of Joint Supercomputer Center of the Russian Academy of Sciences — Branch of Federal State Institution “Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences,” 14 Smolenka River Emb., St. Petersburg 195251, Russian Federation; abramov@niks.su

Gonchar Andrey A. (b. 1969) — deputy director, Joint Supercomputer Center of the Russian Academy of Sciences — Branch of Federal State Institution “Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences,” 32a Leninsky Prosp., Moscow 119334, Russian Federation; andrey.gonchar@jscc.ru

Evseev Anton V. (b. 1973) — director, St. Petersburg Department of Joint Supercomputer Center of the Russian Academy of Sciences — Branch of Federal State Institution “Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences,” 14 Smolenka River Emb., St. Petersburg 195251, Russian Federation; evseev@niks.su

Idrisov Askar T. (b. 1958) — head advisor, Kazakhstan Research and Education Networking Association, 16-18 Satpaeva Str., Almaty 050013, Republic of Kazakhstan; idrisov@kazrena.kz

Novik Dmitry V. (b. 1967) — deputy director, Joint Supercomputer Center of the Russian Academy of Sciences — Branch of Federal State Institution “Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences,” 32a Leninsky Prosp., Moscow 119334, Russian Federation; dvnovik@niks.su

Shabanov Boris M. (b. 1954) — Doctor of Science in technology, assistant professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, director, Joint Supercomputer Center of the Russian Academy of Sciences — Branch of Federal State Institution “Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences,” 32a Leninsky Prosp., Moscow 119334, Russian Federation; shabanov@jscc.ru

НЕКОТОРЫЕ ПРОЕКТЫ НЕТИПОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

*Д. В. Жуков*¹

Аннотация: Обсуждаются вопросы развития функционала специализированных информационных систем (ИС) за счет внедрения интеллектуальных решений на основе технологий искусственного интеллекта (ИИ). Предлагаемые решения опираются на результаты сравнительного анализа процессов реализации государственных стратегий в области ИИ и особенностей условий в РФ. Представлены четыре перспективных проекта экспертных систем. Наряду с «типовым» решением, базирующимся на технологии лицевой биометрии, три «нетиповых» проекта опираются на классические решения в области ИИ первой волны, внимание к которым не так велико, как к проектам на базе искусственных нейронных сетей второй волны.

Ключевые слова: технологии искусственного интеллекта; экспертные системы; искусственные нейронные сети; управление функционированием; обеспечение ресурсов

DOI: 10.14357/08696527220410

1 Введение

В статье обсуждаются вопросы совершенствования функционала ИС больших масштабов за счет внедрения в них интеллектуальных средств и технологий. Под большими ИС понимаются системы, созданные и функционирующие в интересах госорганов РФ или крупных коммерческих организаций. Такие ИС давно вышли за рамки информационного сопровождения основной деятельности и сами стали фактическими средствами производства. Спектр информационных технологий, инструментальных и интеллектуальных средств, применяемых в таких ИС, очень велик и постоянно пополняется. Общепризнанным источником функционального развития таких ИС стали технологии ИИ [1–3]. Государственные стратегии в этой области включают много интересных и перспективных направлений и конкретных задач (см., например, [4–8]).

Надо заметить, что и российская стратегическая инициатива [9] вполне соответствует мировому уровню. При этом реализация этой инициативы в российских условиях сопровождается в определенном смысле уникальными проблемами (материалы для сравнительного анализа есть в [10–13]).

¹Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, DZhukov@ipiran.ru

Фокус внимания в данной работе в большей степени связан с крупными существующими и длительное время функционирующими специализированными системами, которые также заинтересованы в интеллектуализации своего функционала. В течение значительного времени в ФИЦ ИУ РАН выполнялся ряд проектов создания специализированных систем в интересах разных министерств и ведомств. Большинство проектов завершались реализацией и последующей, к настоящему времени длительной, эксплуатацией созданных систем. Сформулированные в статье положения результированы этим опытом, основаны на обобщении актуальных вопросов функционирования таких систем и анализе перспектив их развития в будущем.

Ключевым обстоятельством представляется то, что за довольно значительные периоды реальной эксплуатации, как правило, не пересматривалось функциональное и информационное обеспечение, принципиальные организационно-архитектурные решения, основные конструкторские и технические подходы. При этом в смежных областях за это время происходили революционные изменения. Самые важные смежные области — это государственные ИС (потенциальные источники информации), информационные и интеллектуальные технологии (перспективные современные общесистемные технологии), компьютерные и телекоммуникационные технологии (перспективные аппаратные и вычислительные средства), а также политическая и экономическая ситуация (источник актуального функционала). Для многих длительное время функционирующих специализированных систем к настоящему моменту сложилась насущная потребность принимать систематические решения в части перспектив развития. Для этого потребуется выделить ключевые факторы развития, спрогнозировать их состояние на горизонт 10–15 лет и предложить решения, обеспечивающие адекватное развитие. Обсуждать весь спектр связанных с этим тематических вопросов в рамках одной статьи затруднительно. Решения здесь предлагаются частного характера с акцентом на интеллектуальные информационные технологии, поскольку функционал — принципиальный и наиболее чувствительный элемент любой системы. Это несколько конкретных проектов, полноценная реализация которых могла бы «подтянуть» специализированные системы к современному уровню в части функционала.

2 Факторы влияния

Описание предлагаемых проектов предварим краткой характеристикой текущей ситуации в области ИИ в контексте перспектив применения его технологий в специализированных ИС. Эти положения вытекают из сравнительного анализа, выполненного в [10–13].

Факторы развития технологий ИИ:

- исследования в области ИИ переживают «третью волну», в основном связанную с объяснительными и общими (объединительными) технологиями;

- мировая практика исследований и разработок ориентирована на поддержку любой продуктивной в научном плане деятельности, имеющей отношение к моделированию поведения человека и создания его замены/конкуренции в некоторых областях;
- даже не очень надежные и неидеальные приложения, основанные на технологиях ИИ, более успешно и оперативно внедряются в государственных структурах;
- в мире активно финансируются проекты создания различных репрезентативных банков данных, коллекций образцов, стандартов и методик тестирования, которые будут находиться в открытом доступе;
- принципиальным основанием бурного развития исследований и разработок в области ИИ является появление элементной и аппаратной компьютерной базы, обеспечивающей вычислительные ресурсы, достаточные для функционирования программных продуктов с использованием ИИ;
- второй аналогичный фактор — разработка соответствующего программного обеспечения.

Финансирование исследований и разработок в области ИИ:

- экономические сверхдержавы США и КНР имеют в настоящий момент государственные стратегические документы с горизонтом планирования 2026 г. (США) и 2030 г. (КНР) и оценками объемов рынка ИИ: в США с 2018 по 2026 гг. — рост с 20,67 до 202,57 млрд \$, в КНР — со 140 до 700 млрд \$;
- в Российской Федерации в 2019 г. оценочный объем рынка ИИ составил 139,3 млн \$;
- начиная с 2013 г. в Российской Федерации проводилась реформа РАН, завершившаяся в 2018 г.; результаты проведения данной реформы как минимум девальвировали роль РАН в реализации стратегической инициативы РФ в области ИИ;
- разработчиком Стратегии развития ИИ в РФ выступило ПАО «Сбербанк», в «Альянс по развитию ИИ» включены Минкомсвязи, Сбербанк, Яндекс, Mail.ru, МТС, РФПИ и «Газпромнефть»; ни академические, ни образовательные организации в данный альянс не включены, и о финансировании этих организаций упоминаний в открытых документах нет;
- анализ направлений исследований и разработок в области ИИ, базирующихся на предложениях ПАО «Сбербанк», позволяет сделать вывод о том, что основной их целью будет быстрое извлечение коммерческой прибыли; исследований в интересах специализированных ИС нет и не предвидится.

Научный базис в области ИИ:

- РФ занимает 22-е место по публикационной активности в области ИИ за последние 20 лет — 1,2% от общего числа публикаций; ни одна из российских

организаций не входит в число крупнейших организаций — источников публикаций в области ИИ и спонсоров исследований;

- доля статей, опубликованных представителями институтов РАН, составляет более 34% российских публикаций;
- среди 25 организаций, опубликовавших наибольшее число статей по тематике ИИ, нет ни одной коммерческой организации — только академические и образовательные;
- согласно информации, указанной в статьях, не более 47% публикаций РАН в области ИИ финансируется российскими государственными организациями; остальные источники финансирования — зарубежные;
- для практических разработок в области ИИ к альтернативным коммерческим проектам возможно привлечение российских ученых — сотрудников академических и образовательных организаций; рост числа их публикаций выше общемирового, а сфера интересов вполне покрывает современные направления развития ИИ.

Существующие готовые к применению технологии ИИ:

- в мире существует ряд состоятельных компьютерных библиотек с открытым кодом, реализующих некоторые базовые технологии ИИ: машинное обучение, обучение с подкреплением и пр.; существует ряд открытых банков и наборов данных, используемых для обучения алгоритмов ИИ;
- в РФ разработан и продолжает разрабатываться целый ряд успешных приложений с использованием ИИ с чисто коммерческим потенциалом внедрения;
- в РФ имеется ряд организаций-разработчиков аппаратно-программного обеспечения, успешно и качественно разрабатывающих и внедряющих базовые технологии ИИ в экономической и финансовой сфере: в логистике, управлении запасами, аудите и пр.;
- отсутствует подтвержденная информация о наличии качественных программных продуктов с элементами ИИ, подходящих для внедрения в специализированные ИС непосредственно без дополнительной доработки и сложной настройки.

Риски внедрения технологий ИИ в специализированных ИС:

- отсутствие принятой на высоком уровне цели внедрения приложений с использованием технологий ИИ, отсутствие понятных примеров эффективного использования приложений подобного рода;
- риск неудачи из-за ошибочного выбора алгоритмов;
- риск неудачи из-за нерепрезентативного набора данных, используемых для обучения;

- риск использования открытых библиотек с недокументированными возможностями/вредоносным кодом, а также обучения алгоритмов на специально сфабрикованных нерепрезентативных банках данных;
- риск непреднамеренного внесения разработчиками недокументированных возможностей в создаваемое программное обеспечение (ПО) («смещение/предубеждение»);
- риск неоптимального проектирования, т. е. разработка собственного ПО при уже имеющемся на рынке готовом и эффективном аналоге;
- риск неоптимального выбора исполнителей/соисполнителей составных частей проекта, так называемая «опора на собственные силы»;
- исключительная экономическая ориентированность проектов создания средств автоматизации, заключающаяся в стремлении минимизировать даже разумные затраты, а также этапы и сроки разработки в ущерб качеству продукта;
- неучастие специалистов и экспертов во всех этапах разработки.

3 Примеры типовых применений технологий искусственного интеллекта

В последние годы успешно реализуется множество проектов, связанных с технологиями ИИ в больших ИС. Чаще всего до уровня реализации доводятся проекты, которые можно охарактеризовать как *типовые* внедрения существующих технологий. Вот некоторые примеры таких внедрений:

- технология распознавания лиц — одна из самых успешных технологий ИИ, качество которой благодаря средствам машинного обучения, искусственным нейронным сетям (ИНС) скачкообразно выросло; в ИС лицезавая биометрия применяется, как правило, для идентификации персонала и/или клиентов;
- технология распознавания речи/почерка; функциональные блоки, подобные применяемым в различных интернет-приложениях, включаются в ИС, например в средства подготовки документов, в том числе в рамках электронного документооборота;
- технология сегментации и классификации объектов на аэрофотоснимках и космических снимках в различных диапазонах спектра; расширяет информационные ресурсы и возможности ИС средствами электронной картографии.

Такие технологии можно непосредственно внедрять в ИС без изменения или адаптации имеющегося функционала. Но возможны и некоторые оригинальные приложения. Так, в качестве варианта применения лицезавой биометрии в ИС предлагается *интеллектуальная технология мониторинга и анализа поведения персонала*. Этот вариант приложения лицезавой биометрии отталкивается,

с одной стороны, от уже традиционных схем применения в системах контроля доступа, когда изображение с камеры наблюдения используется для фиксации факта и момента доступа лица в контролируемую зону. С другой стороны, учитывается специфический характер объектов ИС, порядок работы персонала и обслуживания оборудования. Меры по контролю доступа на объекты и внутри объектов размещения ИС вряд ли нуждаются в усилении. Получить новое качество можно, расширив функции контроля. В данном случае сделать это предлагается за счет контроля поведения персонала на основании средств лицевой биометрии.

Рассмотрим следующий принципиальный сценарий такой перспективной системы. Персонал, сотрудники дежурных смен от момента начала смены и до момента завершения выполняют свою работу, перемещаясь между контролируемыми помещениями, внутри них или находясь на отдыхе. Строгого регламента этих перемещений нет и быть не может, так как деятельность сотрудника управляется его должностными обязанностями в условиях текущих решаемых задач. Оснащение служебных помещений значительным числом камер наблюдения позволяет контролировать перемещение сотрудников, но с ростом объема видеофиксации становятся слишком ресурсоемкими задачи оперативного наблюдения (много камер, много наблюдателей, много экранов — неэффективно). Можно использовать данные видеофиксации для разбора инцидентов, но рост объемов видеоданных также дискредитирует эту возможность, так как хранение всей исторической информации становится накладным. Предлагается исключить хранение прямых данных видеофиксации хранением данных о фактических перемещениях персонала. Для этого потребуется:

- сформировать банк данных изображений лиц — сотрудников, дежурных и т. д.;
- подключить потоки видеофиксаций к средствам лицевой биометрии и выполнять динамический анализ поступающих изображений, идентифицируя сотрудников;
- формировать персональные «сменные» траектории сотрудников, сохранять и накапливать их;
- выполнять интеллектуальный анализ траекторий, выявляя отличные от типовых перемещения сотрудников, фиксируя факты поведенческих изменений, оповещая о фактах нетиповых перемещений.

Можно продолжить обсуждать этот проект и дополнять перечень типовых внедрений другими, но заметим, что все перечисленные решения базируются на технологиях ИНС, которым они и обязаны своими высокими потребительскими характеристиками. Это та характеристика, которая выше обозначена как «типичное» решение. Однако спектр технологий ИИ гораздо богаче. Подтверждая этот тезис, далее представим несколько проектов интеллектуальных систем, основанных на других технологиях ИИ. Эти проекты можно назвать *нетиповыми* внедрениями.

4 Проекты нетиповых интеллектуальных систем

4.1 Экспертно-аналитическая система по вопросам целевого назначения

И исторический опыт, и в особенности опыт последних двух лет развития истории с коронавирусом COVID-19 свидетельствуют, во-первых, о принципиальной невозможности предусмотреть все вызовы, с которыми может столкнуться современное государство, во-вторых, о ценности любого опыта, приобретенного не только в последние годы, но и за историческую ретроспективу и потенциально приложимого к новым задачам-вызовам. Сбор и накопление таких знаний стали предметом предлагаемой экспертной системы. Обыкновенные этапы создания [14] включают разработку детальной информационной модели целевого назначения, определение/изыскание источников информации/знаний по разделам целевого назначения, проектирование интеграционных процессов для выявленных (существующих и перспективных) информационных ресурсов. Основным видом контекста в этой системе, конечно, будут текстовые электронные документы. Однако вложения в онтологию предметной области приведут к формированию качественных метаобъектов (словарей, классификаторов), определяют центры компетенций по разделам модели и необходимую инфраструктуру интеграции как внутренних, так и внешних источников информации.

Детальная информационная модель должна формально очертить круг вопросов, тематических областей, затрагивающих целевое функционирование ИС, и, главное, породить онтологическое описание этих областей, т. е. их метаописание, состоящее из перечня объектов, связей, свойств, необходимых словарей и классификаторов. Важно изначально зафиксировать динамический характер этой модели, т. е. предусмотреть возможности ее модификации, дополнения, расширения в процессе функционирования ИС.

По мере детализации онтологического описания параллельно будут определяться центры компетенций по конкретным разделам модели, т. е. те организации-источники, которые обладают информацией/знаниями по включенным в модель предметам и процессам и, что, может быть, даже важнее, перечни конкретных информационных ресурсов, содержащих эти знания.

Наконец, обладая пониманием того, в каких сведениях, а значит, и ресурсах заинтересован конечный пользователь ИС, можно обоснованно ставить вопросы обеспечения доступа к этим ресурсам. Формы этого доступа могут быть самыми разными. Для открытых ресурсов потребуются поисковые работы, не требующие даже уведомления поставщиков информации. Для ведомственных ресурсов ограниченного доступа потребуется подключение к действующим государственным системам обмена информацией. Для закрытых ресурсов (возможно, коммерческих, возможно, содержащих сведения, составляющие государственную тайну) потребуются полноценные проекты, начиная с решения организационных вопросов — заключения соглашений об информационном взаимодействии. Вся

совокупность такой деятельности может быть охарактеризована как проектирование интеграционных процессов.

Второй технический этап создания тематической базы знаний — это создание средств для накопления и размещения материалов, релевантных целевому назначению ИС, причем можно говорить и о промежуточной подзадаче — сформировать начальное наполнение такого хранилища документов тематическими материалами из открытых источников и обеспечить возможности его эффективного пополнения в процессе эксплуатации. Такие источники непременно определятся при выполнении первого этапа и могут быть использованы в первую очередь с тем, чтобы средства автоматизации создавались вместе с информационным наполнением. Вторая задача технического этапа — классифицировать поступающие материалы согласно разработанной модели, сделав из них знания, т. е. выполнить переход от накопления документов к формированию из них полноценной тематической базы знаний. С этой целью потребуются сначала сформировать первичный классификатор (это ключевая задача первого этапа) и, что важнее, создать инструмент его поддержки (расширения, дополнения, уточнения), т. е. разработать средство автоматизации для поддержки тематического классификатора. Наконец, надо иметь средство автоматизации, которое сможет поступающую информацию (и не важно, что это: публикации в средствах массовой информации, сообщения официальных источников ограниченного доступа или донесения с оперативными сведениями) автоматически категоризовать (относить к релевантным разделам классификатора) и подбирать выборки документов согласно этой категоризации. Здесь есть очевидное место для технологий машинного обучения, нейронных сетей и анализа текстов на естественном языке. В такой парадигме потребуются не конечная обученная сеть, которую сделает инженер по знаниям и которая будет в виде подсистемы внедрена в ИС раз и навсегда, а полноценная система поддержки принятия решений в целевой области ИС, автоматизирующая все этапы: от сбора до оперативного реагирования. Итак, последовательность реализации состоит из следующих шагов:

- определение начального тематического перечня ситуаций, отвечающих целевому назначению ИС;
- определение начального классификатора по заданному перечню;
- поиск и отбор материалов (документов), описывающих заданные перечнем ситуации, в том числе обстоятельства их преодоления, примеры положительных и отрицательных управленческих решений;
- обучающая классификация материалов;
- реализация нейронной сети для обучения по выполненной классификации и ее обучение;
- разработка средства пополнения классификатора, хранилища информации, обучающих примеров;
- разработка средства дообучения (переобучения) классифицирующей нейронной сети.

4.2 Система оценки состояния обеспеченности ресурсами

Эту экспертную систему можно представить как систему управления потоками ресурсов организации (материальных, финансовых, людских, неинформационных) на основе мониторинга всех факторов влияния, а именно: внешней складывающейся обстановки, состава и изменений структуры штата сотрудников, наличных ресурсов, инфраструктуры и объектов производства. Главное назначение этой системы — обеспечить поддержку принятия решений в особых (критических) ситуациях. В обычное время система будет функционировать в существующих реалиях, например производства и реализации ресурсов в рыночных условиях, регулирования методами рыночной экономики органами законодательной и исполнительной власти. Для особых периодов потребуется планирование и управление производственными процессами с учетом рационального и ограниченного использования ресурсов. Среди неочевидных, особенных объектов, управляемых такой системой, следует выделить резервы (и если такого ресурса нет в организации, то это повод о нем задуматься) и процессы (вос)производства (если в рыночных условиях есть лишь вопрос достаточности финансов, то в особых — потребуется мониторинг и прогнозирование собственного производства), прогнозы, в том числе ситуативные.

Прототип такой системы представлен в [15], так что речь идет не о новом проекте, а о функциональном развитии существующего. Отсутствуют в прототипе такие концепции, как резервы и прогнозы производства. И если концепция резервов просто расширяет информационную модель, то прогнозирование производства, особенно в условиях замкнутых циклов, — это нетиповой функциональный блок выполнения расчетных задач.

Информационная модель для учета резервов должна включать описание процессов взаимодействия объектов обеспечения в рамках (вос)производства ресурсов. На начальной стадии подойдет простая модель «ресурс производится объектом в известном суточном объеме», как сделано в [15]. В развитии эта модель должна уточняться и учитывать такие факторы, как регламент использования резервов, производство реального цикла, варианты перепрофилирования производственных мощностей, территориально-географические факторы производства, фактическое состояние производственных мощностей. В результате описание процесса (вос)производства ресурсов будет носить приближенный к реальному характер, который будет учитываться в прогностических целях.

Такая модель (вос)производства обеспечит эксперта возможностями интеллектуального прогнозирования на основе гибкого учета реальных факторов производства ресурсов обеспечения. Для прогнозирования система должна обеспечивать возможности синтеза прогнозирующих моделей на основании обучающих воздействий двух типов: (а) формируемых экспертом; (б) идентифицируемых на основе данных исторических прецедентов. Здесь перспективны к применению методы анализа временных рядов (и для этого критично накопление ретроспективных данных, в том числе о ранее имевших место ситуациях, с возможностью

их применения на прецедентной основе), дополненные современными подходами к анализу быстроменяющихся данных, скачкообразных процессов, ситуационного прогнозирования (выделение трендов пессимистичного, оптимистичного и среднего краткосрочного прогноза) и др.

4.3 Жизнеобеспечение производственных объектов организации

Данный проект исходит из того же прототипа [15], но затрагивает более локальную область обеспечения бесперебойного функционирования отдельных объектов обеспечения ресурсами организации. Практически все инструменты, которые нужны для этого масштаба, включены в предыдущую модель системы оценки состояния обеспеченности ресурсами, и требуется только их адаптация к меньшим масштабам. Концепция этой системы носит универсальный характер, а качественных изменений, возможно полного пересмотра, потребует наполнение основных понятий — ресурсов и объектов обеспечения. При этом инструментарий мониторинга и анализа остается актуальным.

В качестве ближайшей перспективы такой экспертной системы можно выбрать построение модели обеспечения ресурсами самой ИС, разработки средств мониторинга и анализа применительно к функционированию, в том числе автономному, объектов этой ИС. Такая система могла бы дополнить имеющиеся традиционные средства управления функционированием системами и сетями, пополнив их принципиально новым функционалом.

5 Заключение

Статья представляет краткое описание реальных предложений по реализации в действующих больших ИС новых средств автоматизации с применением технологий ИИ. Проекты предваряет краткий анализ текущего этапа развития исследований и разработок в этой области. На его основе предложены 4 нетиповых проекта экспертных систем. Практическая реализация некоторых из проектов в настоящее время имеет реальное воплощение.

Литература

1. *Haenlein M., Kaplan A. A. Brief history of artificial intelligence: On the past, present, and future of artificial intelligence // Calif. Manage. Rev., 2019. Vol. 61. No. 4. P. 5–14.*
2. *Соколов И. А. Теория и практика применения методов искусственного интеллекта // Вестник РАН, 2019. Т. 89. № 4. С. 365–370.*
3. *Russell S., Norvig P. Artificial intelligence: A modern approach. — New York, NY, USA: Pearson, 2020. 1136 p.*
4. *The National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan: 2019 update. — Select Committee on Artificial Intelligence of the National Science and Technology Council, 2019. Report. www.nitrd.gov/pubs/National-AI-RD-Strategy-2019.pdf.*

5. DARPA. Our research. www.darpa.mil/our-research.
6. IARPA. Research programs. www.iarpa.gov/index.php/research-programs.
7. Artificial intelligence at the FBI — 6 current initiatives and projects. www.emerj.com/ai-sector-overviews/artificial-intelligence-fbi.
8. Artificial intelligence in policing — use-cases, ethical concerns, and trends. www.emerj.com/ai-sector-overviews/artificial-intelligence-in-policing.
9. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года: Указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».
10. Борисов А. В., Босов А. В., Жуков Д. В. Стратегия исследований и разработок в области искусственного интеллекта I: Основные понятия и краткая хронология // Системы и средства информатики, 2021. Т. 31. № 1. С. 57–68.
11. Борисов А. В., Босов А. В., Жуков Д. В. Стратегия исследований и разработок в области искусственного интеллекта II: Сравнительный анализ наукометрических показателей в мире и в Российской Федерации // Системы и средства информатики, 2021. Т. 31. № 2. С. 89–107.
12. Борисов А. В., Босов А. В., Жуков Д. В. Стратегия исследований и разработок в области искусственного интеллекта III: Доктрина государственной поддержки США // Системы и средства информатики, 2021. Т. 31. № 4. С. 114–134.
13. Борисов А. В., Босов А. В., Жуков Д. В. Стратегия исследований и разработок в области искусственного интеллекта IV: Государственная политика КНР // Системы и средства информатики, 2022. Т. 32. № 1. С. 18–33.
14. Giarratano J. C., Riley G. D. Expert systems: Principles and programming. — 4th ed. — Boston, MA, USA: Course Technology, 2004. 288 p.
15. Босов А. В., Жуков Д. В. Экспертная система для мониторинга и прогнозирования процессов распределения ресурсов // Информатика и её применения, 2021. Т. 15. Вып. 3. С. 29–40.

Поступила в редакцию 31.05.22

SOME PROJECTS OF NONSTANDARD EXPERT SYSTEMS APPLICATION

D. V. Zhukov

Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

Abstract: The issues of specialized information systems functionality developing through the introduction of intelligent solutions based on artificial intelligence technologies are discussed. The proposed solutions are based on the results of a comparative analysis of the implementing state strategies processes in the field of artificial intelligence and the specific conditions in the Russian Federation. Four perspective projects of expert systems are presented. Along with the “standard” solution based on the facial biometrics technology, three “nonstandard” projects rely on the classic first-wave artificial intelligence solutions which have not received as much attention as projects based on the second-wave artificial neural networks.

Keywords: artificial intelligence technologies; expert systems; artificial neural networks; performance management; provision of resources

DOI: 10.14357/08696527220410

References

1. Haenlein, M., and A. A. Kaplan. 2019. Brief history of artificial intelligence: On the past, present, and future of artificial intelligence. *Calif. Manage. Rev.* 61(4):5–14.
2. Sokolov, I. A. 2019. Theory and practice of application of artificial intelligence methods. *Her. Russ. Acad. Sci.* 89(2):115–119.
3. Russell, S., and P. Norvig. 2020. *Artificial intelligence: A modern approach*. New York, NY: Pearson. 1136 p.
4. Select Committee on Artificial Intelligence of the National Science and Technology Council. 2019. The National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan: 2019 update. Report. Available at: www.nitrd.gov/pubs/National-AI-RD-Strategy-2019.pdf (accessed September 13, 2022).
5. DARPA. Our research. Available at: www.darpa.mil/our-research (accessed September 13, 2022).
6. IARPA. Research programs. Available at: www.iarpa.gov/index.php/research-programs (accessed September 13, 2022).
7. Artificial intelligence at the FBI — 6 current initiatives and projects. Available at: www.emerj.com/ai-sector-overviews/artificial-intelligence-fbi/ (accessed September 13, 2022).
8. Artificial intelligence in policing — use-cases, ethical concerns, and trends. Available at: www.emerj.com/ai-sector-overviews/artificial-intelligence-in-policing/ (accessed September 13, 2022).
9. Natsional'naya strategiya razvitiya iskusstvennogo intellekta na period do 2030 goda [National strategy for the development of artificial intelligence for the period up to 2030]. 10.10.2019. Ukaz Prezidenta RF No. 490 [Presidential Decree No. 490]. Available at: <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/AH4x6HgKWANwVtMOfPDhcbRpv d1HCCsv.pdf> (accessed September 13, 2022).
10. Borisov, A. V., A. V. Bosov, and D. V. Zhukov. 2021. Strategiya issledovaniy i razrabotok v oblasti iskusstvennogo intellekta I: Osnovnye ponyatiya i kratkaya khronologiya [Research and development strategy in the field of artificial intelligence I: Basic concepts and brief chronology]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 31(1):57–68.
11. Borisov, A. V., A. V. Bosov, and D. V. Zhukov. 2021. Strategiya issledovaniy i razrabotok v oblasti iskusstvennogo intellekta II: Sravnitel'nyy analiz naukometricheskikh pokazateley v mire i v Rossiyskoy Federatsii [Research and development strategy in the field of artificial intelligence II: Comparative analysis of scientometric indicators in the world and in the Russian Federation]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 31(2):89–107.
12. Borisov, A. V., A. V. Bosov, and D. V. Zhukov. 2021. Strategiya issledovaniy i razrabotok v oblasti iskusstvennogo intellekta III: Doktrina gosudarstvennoy podderzhki SShA [Research and development strategy in the field of artificial intelligence III: United States government support doctrine]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 31(4):114–134.

13. Borisov, A. V., A. V. Bosov, and D. V. Zhukov. 2022. Strategiya issledovaniy i razrabotok v oblasti iskusstvennogo intellekta IV: Gosudarstvennaya politika KNR [Research and development strategy in the field of artificial intelligence IV: Chinese government policy]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 32(1):18–33.
14. Giarratano, J. C., and G. D. Riley. 2004. *Expert systems: Principles and programming*. 4th ed. Boston, MA: Course Technology. 288 p.
15. Bosov, A. V., and D. V. Zhukov. 2022. Ekspertnaya sistema dlya monitoringa i prognozirovaniya protsessov raspredeleniya resursov [Expert system for monitoring and forecasting of resource allocation processes]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 15(3):29–40.

Received May 31, 2022

Contributor

Zhukov Denis V. (b. 1979) — principal specialist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; DZhukov@ipiran.ru

АЛГОРИТМЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ КОНКРЕТНО-ИСТОРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

И. М. Адамович¹, О. И. Волков²

Аннотация: Статья продолжает серию работ, посвященных технологии поддержки конкретно-исторических исследований (ПКИИ). Технология построена на принципах сотворчества и краудсорсинга и ориентирована на широкий круг не относящихся к профессиональным историкам и биографам пользователей. Статья посвящена дальнейшему развитию технологии за счет интеграции в нее механизма автоматизированного поиска аномалий в конкретно-исторических данных на базе кластерного анализа. Проведен анализ специфики конкретно-исторических данных и способов их представления в объектной модели технологии. Подробно рассмотрены методы оцифровки смешанных данных и используемых для них мер близости, оценены достоинства и недостатки алгоритмов кластеризации, применяемых для поиска аномалий. На основании проведенного анализа выработан подход к поиску аномалий в данных в технологии и намечены направления проверки эффективности выбранных алгоритмов и мер близости на реальных конкретно-исторических данных.

Ключевые слова: конкретно-историческое исследование; распределенная технология; аномалия; историко-биографический факт; кластеризация

DOI: 10.14357/08696527220411

1 Введение

Поддержка конкретно-исторических исследований стала одной из актуальных задач современности в связи с вовлечением в исследовательский процесс не только членов профессионального исторического сообщества, но и самых широких слоев непрофессионалов в связи со все возрастающим интересом к частной, семейной истории [1].

В [2, 3] описана разработанная в ФИЦ ИУ РАН распределенная технология ПКИИ, основанная на принципах краудсорсинга (мобилизации ресурсов широкого круга добровольцев посредством информационных технологий). Данные технологии организованы в форме семантической сети. Узлы сети представляют собой именованные универсальные классы объектов. Факты задаются значени-

¹Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, Adam@amsd.com

²Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, Volkov@amsd.com

ями экземпляров классов и связями между ними. Связи наследуются из сети классов [4].

Специфика конкретно-исторического исследования состоит в том, что факты, которыми оперирует исследователь (историко-биографические факты), обладают свойством фрагментарности и противоречивости. Процедура выявления аномалий в обнаруженных фактах и выявления противоречий между ними является значимой составляющей этапа сопоставления фактов в конкретно-историческом исследовании [5]. При этом выявление аномалии или противоречия не становится поводом отбросить якобы ошибочные данные, как предполагает традиционный подход, а дает повод исследователю сконцентрироваться на поиске свидетельств наличия оснований для исключений, т.е. выявление аномалии вместо сужения объема информации дает новый импульс исследованию, что иллюстрирует специфичность конкретно-исторического исследования.

В [6] для технологии ПКИИ был предложен и описан механизм, частично автоматизирующий поиск противоречий между конкретно-историческими фактами, а также между фактами и регламентирующими их нормальными (правилами, законами, традициями и т.п.). Но в [7] была показана недостаточность этого механизма для обработки данных, порожденных при автоматической обработке нарративных источников с помощью системы Т-парсер, предназначенной для извлечения фактов из текстов историко-биографической направленности [8]. Обоснован подход, при котором противоречие в данных является частным случаем аномалии, понимаемой как противоречие между историко-биографическим фактом и нормальными, здравым смыслом, реалиями, обычным ходом вещей и т.п. Обоснована необходимость в дополнительной автоматизации процедуры поиска аномалий в конкретно-исторических данных. Приведена классификация аномалий в конкретно-исторических данных и причин их появления. Был проведен анализ подходов к поиску аномалий в данных и показана возможность их использования в технологии с учетом специфики историко-биографических фактов. Был сделан вывод, что наиболее перспективным является подход, основанный на кластерном анализе. Цель данной статьи — дальнейшая проработка этого подхода и его адаптация к технологии ПКИИ.

2 Специфика конкретно-исторических данных

Специфика биографического исследования состоит в том, что в центре внимания исследователя находится конкретная личность и все без исключения стороны (социальные, экономические, политические, этнические, художественные и т.п.) ее реальной жизни [9].

Исторические события и процессы обладают как качественными (категориальными, номинальными), так и количественными признаками. Признаки исторических явлений многообразны и неоднородны. В связи с этим используются разные единицы измерения. Неоднородность признаков измеряемых

явлений предполагает использование разных методов измерения. В клиометрии используются четыре шкалы (метода) измерения [10].

1. Шкала наименований (номинальная). Суть измерения по шкале наименований состоит в том, что объекты характеризуются тождеством внутри класса и различием между классами.
2. Шкала порядка. Число при измерении по шкале порядка обозначает место объекта в упорядоченном ряду. Это место можно считать рангом объекта.
3. Шкала интервалов. Обладая всеми свойствами порядковой шкалы, шкала интервалов отличается от нее тем, что точно определяет величину интервала в принятых единицах измерения.
4. Пропорциональная шкала, или шкала отношений, представляет собой метрическую шкалу, по которой ведутся счет и измерение количественных признаков. Для этой шкалы характерны метрические единицы измерения и начальная нулевая точка отсчета, поэтому пропорциональная шкала позволяет установить, во сколько раз те или иные свойства одного объекта больше, чем у другого, т. е. выявить их точное количественное соотношение (отсюда и название — шкала отношений).

В технологии ПККИИ в полной мере учитывается специфика конкретно-исторического исследования и неоднородность признаков исследуемых событий и явлений, поэтому факты в ней задаются значениями экземпляров классов и связями между ними. Каждый экземпляр имеет значение (которое может быть пустым). Непустое значение имеет либо текстовый комментарий, либо специальную ссылку, связывающую его с документом-источником. Значение состоит из двух полей: текстового и числового [2]. Такой подход позволяет использовать в технологии смешанные (категориальные и количественные) данные, измеренные по всем типам шкал.

3 Оцифровка смешанных данных

Основа кластеризации — отношение близости (мера сходства), которое не обязательно является метрикой [11]. Для количественных данных, как правило, в качестве такого отношения выступает евклидово расстояние, но для категориальных непосредственное вычисление такого расстояния невозможно и требуется процедура, называемая оцифровкой.

Самый простой способ оцифровки, называемый Label Encoding, представляет собой обычную нумерацию значений (0, 1, 2, ...). Другой популярный способ — Dummy-кодирование, или One-Hot кодирование. Он заключается в создании дополнительных признаков (столбцов) по числу уникальных категорий. Новые признаки принимают значения 0 или 1 в зависимости от принадлежности к категории [12].

Оцифровка позволяет формально вычислить евклидово расстояние между объектами, однако эти преобразования могут привести к тому, что алгоритмы

кластеризации неправильно поймут эти признаки и создадут бессмысленные кластеры [13]. Для смешанных данных существуют иные меры близости, не основанные на евклидовом расстоянии.

4 Меры близости для смешанных данных

Для смешанных данных были разработаны и используются следующие меры близости.

- 1. Расстояние Гауэра.** Предположим, что данные представлены матрицей $X = [x_{ic}]$, где $i = 1, 2, \dots, n$ (n — общее число объектов) и $c = 1, 2, \dots, m$ (m — общее число переменных). Тогда расстояние Гауэра между объектами x_i и x_j , которые характеризуются значениями переменных смешанного типа, выражается с помощью формулы

$$d_G(x_i, x_j) = \frac{\sum_{c=1}^m w_{ijc} d_{ijc}}{\sum_{c=1}^m w_{ijc}}, \quad (1)$$

где d_{ijc} — мера различия между i -м и j -м объектами по c -й переменной ($c = 1, \dots, m$), а w_{ijc} принимает нулевое значение, если отсутствует либо i -й, либо j -й объект по c -й переменной; в противном случае он принимает значение 1.

Если c -я переменная является номинальной (или альтернативной), различие между ее двумя категориями рассматривается как ноль для совпадений категорий и как единица в противном случае.

Если c -я переменная числовая, то различие выражается формулой

$$d_{ijc} = \frac{|x_{ic} - x_{jc}|}{\max(x_c) - \min(x_c)}. \quad (2)$$

Если c -я переменная является порядковой, все категории формируются в соответствии с формулой

$$x_{ic} = \frac{r_{ic} - 1}{R_c - 1},$$

где r_{ic} — номер ранга i -й порядковой категории ($r = 1, \dots, R_c$), а R_c — максимальный номер ранга c -й переменной. После этого преобразования итоговые значения могут быть использованы в уравнении (2) для числовых переменных [14].

- 2. Обобщение евклидового расстояния для алгоритма k-Prototypes.** В тех же обозначениях дополнительно без ограничения общности полагаем, что

первые p переменных являются числовыми, а остальные $m - p$ — категориальными. Тогда расстояние, предложенное в [15], между объектами x_i и x_j выражается с помощью формулы

$$d_H(x_i, x_j) = \sum_{c=1}^p (x_{ic} - x_{jc})^2 + \gamma \sum_{c=p+1}^m \delta(x_{ic}, x_{jc}), \quad (3)$$

где

$$\delta(x_{ic}, x_{jc}) = \begin{cases} 0, & x_{ic} = x_{jc}; \\ 1, & x_{ic} \neq x_{jc}, \end{cases}$$

а γ является параметром, отражающим важность категориальных переменных. Если $\gamma = 0$, то расстояние сводится к классическому евклидовому расстоянию.

3. Мера согласования разнотипных шкал. Снова предположим, что данные представлены матрицей $X = [x_{ic}]$, где $i = 1, 2, \dots, n$ (n — общее число объектов) и $c = 1, 2, \dots, m$ (m — общее число переменных). Тогда мера согласования разнотипных шкал [16] между объектами x_i и x_j , которые характеризуются значениями переменных смешанного типа, выражается с помощью формулы

$$d_S(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{c=1}^m (d_{ijc})^2}, \quad (4)$$

где d_{ijc} — мера различия между i -м и j -м объектами по c -й переменной ($c = 1, \dots, m$). Формула вычисления d_{ijc} зависит от типа переменной c :

- (а) для числовой переменной d_{ijc} вычисляется в соответствии с формулой (2), как и для расстояния Гауэра;
- (б) для порядковой переменной

$$d_{ijc} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n d(i, j)_k^c,$$

где $d(i, j)_k^c$ есть мера различия в отношениях i -го и j -го объектов к некоторому k -му объекту по переменной c , определяемая в соответствии с табл. 1;

- (в) для номинальной переменной

$$d_{ijc} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n d(i, j)_k^c,$$

Таблица 1 Мера различия в отношениях для порядковой переменной

Отношение объектов i и k	Отношение объектов j и k	$d(i, j)_k^c$
$x_{ic} > x_{kc}$	$x_{jc} > x_{kc}$	0
$x_{ic} < x_{kc}$	$x_{jc} < x_{kc}$	0
$x_{ic} = x_{kc}$	$x_{jc} = x_{kc}$	0
$x_{ic} > x_{kc}$	$x_{jc} < x_{kc}$	1
$x_{ic} < x_{kc}$	$x_{jc} > x_{kc}$	1
$x_{ic} = x_{kc}$	$x_{jc} \neq x_{kc}$	0,5
$x_{ic} \neq x_{kc}$	$x_{jc} = x_{kc}$	0,5

Таблица 2 Мера различия в отношениях для номинальной переменной

Отношение объектов i и k	Отношение объектов j и k	$d(i, j)_k^c$
$x_{ic} = x_{kc}$	$x_{jc} = x_{kc}$	0
$x_{ic} \neq x_{kc}$	$x_{jc} \neq x_{kc}$	0
$x_{ic} = x_{kc}$	$x_{jc} \neq x_{kc}$	1
$x_{ic} \neq x_{kc}$	$x_{jc} = x_{kc}$	1

где $d(i, j)_k^c$ также есть мера различия в отношениях i -го и j -го объектов к некоторому k -му объекту по переменной c , определяемая в соответствии с табл. 2.

5 Алгоритмы кластеризации

Разработано много алгоритмов кластеризации, которые могут быть использованы для поиска аномалий [17], в том числе Self-organizing map (SOM), Fuzzy C-Means (FCM), Unsupervised Niche Clustering (UNC). Но наиболее популярными [18] остаются методы К-средних (k-Means) и агломеративной иерархической кластеризации, а также относительно недавно (1996 г.) созданный алгоритм DBSCAN (Density-based spatial clustering of applications with noise).

Модификацией алгоритма k-Means, позволяющей проводить кластеризацию смешанных данных, стал алгоритм k-Prototypes [15]. Он использует расстояние, вычисляемое в соответствии с формулой (3). Алгоритм пользуется большой популярностью в связи с простотой принципа, большой скоростью и хорошей масштабируемостью. Но при этом k-Prototypes обладает рядом существенных недостатков: он неспособен выделить кластеры несферической формы и число кластеров должно быть задано как параметр изначально.

Алгоритм агломеративной иерархической кластеризации с использованием меры близости, позволяющей обрабатывать смешанные данные (обычно это задаваемое в соответствии с формулой (1) расстояние Гауэра), позволяет эффективно определять аномалии. Основное преимущество иерархических методов класте-

ризации заключается в отсутствии необходимости начального предопределения числа кластеров. Выявление аномалий осуществляется путем анализа результатов иерархической кластеризации и выявления ветвей дендрограммы, располагающихся на начальных уровнях построения дерева и не имеющих ветвлений [19]. Следует учитывать, что метод является весьма «дорогим» в вычислительном отношении.

Плотностный алгоритм кластеризации DBSCAN изначально ориентирован на данные, содержащие выбросы. Для обработки смешанных данных алгоритм может использовать соответствующие меры близости. Обычно это также расстояние Гауэра, задаваемое в соответствии с формулой (1). На вход необходимо подать два параметра: размер окрестности ε и минимальное число точек в кластере minPts . В отличие от множества других алгоритмов, он не требует указания числа кластеров и может находить произвольное их количество. Также этот алгоритм может находить кластеры различных форм [18]. К недостаткам алгоритма следует отнести необходимость подбора значений параметров и проблемы с определением кластеров с большой разницей в плотности. Последний недостаток становится серьезным препятствием для применения этого алгоритма к данным, содержащим области с разной плотностью. Но эта проблема может быть разрешена за счет использования модификации алгоритма DBSCAN — алгоритма OPTICS (Ordering points to identify the clustering structure), специально разработанного для таких данных.

Анализ показал, что мера согласования разнотипных шкал, задаваемая в соответствии с формулой (4), в качестве меры близости для рассмотренных алгоритмов используется крайне редко. Но данная мера потенциально полезна, поскольку ее использование совместно с пороговым алгоритмом кластеризации, несмотря на недостатки алгоритма, показало хорошие результаты [20].

6 Подход для технологии поддержки конкретно-исторических исследований

Как показано выше, специфика конкретно-исторического исследования состоит в том, что факты, которыми оперирует исследователь (историко-биографические факты), обладают свойством фрагментарности и противоречивости. Получение этих фактов — необходимая и наиболее трудоемкая стадия биографического исследования, состоящая в работе в архивах и просмотре огромного числа документов. Соответственно, данные технологии ПКИИ обладают следующими свойствами:

- данные являются смешанными, и их параметры могут быть измерены по разным шкалам;
- объем данных не чрезмерно велик, даже с учетом распределенности и пополнения базы данных технологии большим числом пользователей;
- плотность данных является переменной величиной;

- в любой разумной метрике области однородных данных могут иметь сложную форму.

Из этого следует, что применение алгоритма k-Prototypes для поиска аномалий в данных в технологии ПКИИ нецелесообразно. Перспективны для этих целей алгоритмы агломеративной иерархической кластеризации и OPTICS. Опыт эксплуатации технологии на реальных конкретно-исторических данных может показать преимущества и недостатки указанных алгоритмов, а также выбрать для них оптимальные параметры.

В качестве меры сходства для этих алгоритмов должно использоваться расстояние Гауэра. Использование для этой цели меры согласования разнотипных шкал потенциально перспективно. Целесообразность включения этой меры в технологию также может быть оценена по результатам экспериментов на реальных конкретно-исторических данных.

7 Выводы

Интеграция в технологию ПКИИ механизма поиска аномалий в конкретно-исторических данных может существенно упростить и повысить эффективность такой плохо формализуемой и очень трудоемкой фазы конкретно-исторического исследования, как взаимоувязывание найденной информации и поиск в ней противоречий. Осуществлена дальнейшая проработка этого механизма, выбраны конкретные алгоритмы, намечены пути проверки их эффективности в условиях технологии и настройки на конкретно-исторические данные.

Актуальность дальнейшего развития в рассмотренном направлении технологии ПКИИ, ориентированной на широкий круг не относящихся к профессиональным историкам и биографам пользователей, вытекает из все возрастающего общественного интереса к частной, семейной истории.

Литература

1. Грибач С. В. Исследование семейных кризисов посредством психолингвистического эксперимента // Сборники конференций НИЦ Социосфера, 2010. № 6. С. 45–54.
2. Адамович И. М., Волков О. И. Технология распределенного автоматизированного анализа исторических текстов // Системы и средства информатики, 2016. Т. 26. № 3. С. 148–161. doi: 10.14357/08696527160311.
3. Адамович И. М., Волков О. И. Единая технология поддержки конкретно-исторических исследований // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 1. С. 194–205. doi: 10.14357/08696527190116.
4. Адамович И. М., Волков О. И. Принципы организации данных для технологии поддержки конкретно-исторических исследований // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 2. С. 161–171. doi: 10.14357/08696527190214.
5. Адамович И. М., Волков О. И. Иерархическая форма представления биографического факта // Системы и средства информатики, 2016. Т. 26. № 2. С. 108–122. doi: 10.14357/08696527160207.

6. Адамович И. М., Волков О. И. Автоматизированный поиск противоречий в конкретно-исторической информации // Системы и средства информатики, 2020. Т. 30. № 3. С. 145–153. doi: 10.14357/08696527200313.
7. Адамович И. М., Волков О. И. Подход к поиску аномалий в конкретно-исторических данных // Системы и средства информатики, 2022. Т. 32. № 3. С. 136–146. doi: 10.14357/08696527220313.
8. Адамович И. М., Волков О. И. Система извлечения биографических фактов из текстов исторической направленности // Системы и средства информатики, 2015. Т. 25. № 3. С. 235–250. doi: 10.14357/08696527150315.
9. Иконникова С. Н. Биографика как часть исторической культурологии // Вестник СПбГУКИ, 2012. № 2(11). С. 6–10.
10. Ковальченко И. Д. Методы исторического исследования. — М.: Наука, 2003. 486 с.
11. Бантикова О. И., Седова Е. Н., Чудинова О. С. Методы кластерного анализа. Классификация без обучения (непараметрический случай). — Оренбург: ГОУ ОГУ, 2011. 91 с.
12. Синьков Д. В., Ваничкин А. Д. Кодирование категориальных данных для использования в машинном обучении // Молодой ученый, 2020. № 21(311). С. 70–72.
13. Lasaosa J. M. Hands-on tutorials. Clustering on numerical and categorical features. Using Gower distance in Python // Towards Data Science, 2021. <https://towardsdatascience.com/clustering-on-numerical-and-categorical-features-6e0ebcf1cbad>.
14. Šulc Z., Procházka J., Matějka M. Modifications of the Gower similarity coefficient // 19th Conference of Applications of Mathematics and Statistics in Economics Proceedings. — Banská Bystrica, Slovakia: Matej Bel University, 2016. P. 369–377.
15. Huang Z. Extensions to the k-means algorithm for clustering large data sets with categorical variables // Data Min. Knowl. Disc., 1998. No. 2. P. 283–304.
16. Загоруйко Н. Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. — Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1999. 270 с.
17. Кожевникова И. С., Ананьин Е. В., Лысенко А. В. Неконтролируемые методы машинного обучения при обнаружении сетевых аномалий // Молодой ученый, 2016. № 30(134). С. 30–33.
18. Ковалёв С. П. Использование алгоритма кластеризации DBSCAN для фильтрации выбросов в данных // Компьютерные системы и сети: 55-я Юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов. — Минск: БГУИР, 2019. С. 198–200.
19. Кисляков А. Н., Поляков С. В. Иерархические методы кластеризации в задаче поиска аномальных наблюдений на основе групп с нарушенной симметрией // Управленческое консультирование, 2020. № 5. С. 116–127.
20. Альсова О. К., Ускова К. С. Программная система кластерного анализа данных смешанного типа // Автоматика и программная инженерия, 2013. № 1(3). С. 75–81.

Поступила в редакцию 25.07.22

CLUSTERING ALGORITHMS FOR TECHNOLOGY OF CONCRETE HISTORICAL INVESTIGATION SUPPORT

I. M. Adamovich and O. I. Volkov

Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation

Abstract: The article continues the series of works devoted to the technology of concrete historical research support. The technology is based on the principles of co-creation and crowdsourcing and is designed for a wide range of users which are not professional historians and biographers. The article is devoted to the further development of the technology by integrating into it a mechanism for automated search for anomalies in concrete historical information based on cluster analysis. The analysis of the specifics of concrete historical data and the ways of their representation in the object model of technology is carried out. The methods of mixed data digitizing and the proximity measures used for them are considered in detail and the advantages and disadvantages of clustering algorithms used to search for anomalies are evaluated. Based on the analysis, an approach was developed to search for anomalies in the data of technology and directions were outlined for testing the effectiveness of the selected algorithms and proximity measures on real concrete historical data.

Keywords: concrete historical investigation; distributed technology; anomaly; historical-biographical fact; clustering

DOI: 10.14357/08696527220411

References

1. Gribach, S. V. 2010. Issledovanie semeynykh krizisov posredstvom psikholingvisticheskogo eksperimenta [The study of family crises through a psycholinguistic experiment]. *Sborniki konferentsiy NITs Sotsiosfera* [Conference Proceedings NIC Sociosfera] 6:45–54.
2. Adamovich, I. M., and O. I. Volkov. 2016. Tekhnologiya raspredelennogo avtomatizirovannogo analiza istoricheskikh tekstov [The distributed automated technology of historical texts analysis]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 26(3):148–161. doi: 10.14357/08696527160311.
3. Adamovich, I. M., and O. I. Volkov. 2019. Edinaya tekhnologiya podderzhki konkretno-istoricheskikh issledovaniy [Unified technology of concrete historical research support]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(1):194–205. doi: 10.14357/08696527190116.
4. Adamovich, I. M., and O. I. Volkov. 2019. Printsipy organizatsii dannykh dlya tekhnologii podderzhki konkretno-istoricheskikh issledovaniy [The principles of data organization for the technology of concrete historical research support]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(2):161–171. doi: 10.14357/08696527190214.

5. Adamovich, I. M., and O. I. Volkov. 2016. Ierarkhicheskaya forma predstavleniya biograficheskogo fakta [Hierarchical format of a biographical fact]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 26(2):108–122. doi: 10.14357/08696527160207.
6. Adamovich, I. M., and O. I. Volkov. 2020. Avtomatizirovannyi poisk protivorechiy v konkretno-istoricheskoy informatsii [Automated search for contradictions in concrete-historical information]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 30(3):145–153. doi: 10.14357/08696527200313.
7. Adamovich, I. M., and O. I. Volkov. 2022. Podkhod k poisku anomalii v konkretno-istoricheskikh dannykh [An approach to searching for anomalies in concrete-historical data]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 32(3):136–146. doi: 10.14357/08696527220313.
8. Adamovich, I. M., and O. I. Volkov. 2015. Sistema izvlecheniya biograficheskikh faktov iz tekstov istoricheskoy napravlenosti [The system of facts extraction from historical texts]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 25(3):235–250. doi: 10.14357/08696527150315.
9. Ikonnikova, S. N. 2012. Biografika kak chast' istoricheskoy kul'turologii [Biographical studies as part of the historical cultural studies]. *Vestnik SPbGUKI* [Herald of the St. Petersburg State University of Culture and Art] 2(11):6–10.
10. Koval'chenko, I. D. 2003 *Metody istoricheskogo issledovaniya* [Methods of historical research]. Moscow: Nauka. 486 p.
11. Bantikova, O. I., E. N. Sedova, and O. S. Chudinova. 2011. *Metody klaster'nogo analiza. Klassifikatsiya bez obucheniya (neparametricheskii sluchay)* [Methods of cluster analysis. Classification without training (nonparametric case)]. Orenburg: GOU OGU. 91 p.
12. Sin'kov, D. V., and A. D. Vanichkin. 2020. Kodirovanie kategorial'nykh dannykh dlya ispol'zovaniya v mashinnom obuchenii [Categorical data coding for use in machine learning]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist] 21(311):70–72.
13. Lasaosa, J. M. 2021. Hands-on tutorials. Clustering on numerical and categorical features. Using Gower distance in Python. *Towards Data Science*. Available at: <https://towardsdatascience.com/clustering-on-numerical-and-categorical-features-6e0ebcf1cbad> (accessed August 31, 2022).
14. Šulc, Z., J. Procházka, and M. Matějka. 2016. Modifications of the Gower similarity coefficient. *19th Conference of Applications of Mathematics and Statistics in Economics Proceedings*. Banská Bystrica, Slovakia: MatejBel University. 369–377.
15. Huang, Z. 1998. Extensions to the k-means algorithm for clustering large data sets with categorical variables. *Data Min. Knowl. Disc.* 2:283–304.
16. Zagoruiko, N. G. 1999. *Prikladnye metody analiza dannykh i znaniy* [Applied methods of data and knowledge analysis]. Novosibirsk: Institute of Mathematics Publ. 270 p.
17. Kozhevnikova, I. S., E. V. Anan'in, and A. V. Lysenko. 2016. Nekontroliruyemye metody mashinnogo obucheniya pri obnaruzhenii setevykh anomalii [Unsupervised machine learning methods for detecting network anomalies]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist] 30(134):30–33.
18. Kovalev, S. P. 2019. Ispol'zovanie algoritma klasterizatsii DBSCAN dlya fil'tratsii vybrosov v dannykh [Using the DBSCAN clustering algorithm for filtering outliers in data]. *Komp'yuternye sistemy i seti: 55-ya Yubileynaya nauchnaya konferentsiya aspirantov, magistrantov i studentov* [55th Anniversary Scientific Conference of Graduate

Students, Undergraduates and Students “Computer Systems and Networks” Proceedings]. Minsk: BSUIR. 198–200.

19. Kislyakov, A.N., and S.V. Polyakov. 2020. Ierarkhicheskie metody klasterizatsii v zadache poiska anomal'nykh nablyudeniy na osnove grupp s narushennoy simmetriey [Hierarchical clustering methods in a task to find abnormal observations based on groups with broken symmetry]. *Upravlencheskoe konsul'tirovanie* [Administrative Consulting] 5:116–127.
20. Alsova, O.K., and K.S. Uskova. 2013. Programmnaya sistema klasterного analiza dannykh smeshannogo tipa [Software system cluster analysis of mixed data types]. *Avtomatika i programmnaya inzheneriya* [Automatics & Software Engineering] 1(3): 75–81.

Received July 25, 2022

Contributors

Adamovich Igor M. (b. 1934)— Candidate of Science (PhD) in technology, leading scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; adam@amsd.com

Volkov Oleg I. (b. 1964) — leading programmer, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; volkov@amsd.com

МЕТОД ЦЕЛЕВОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РЕШЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

А. В. Ильин¹, В. Д. Ильин²

Аннотация: Рассмотрена обновленная технология интерактивного решения линейных задач ситуационного управления методом целевого перемещения решения. Формулировки задач и требования к качеству решения формируются на основе анализа портретов целевой и достигнутой ситуации. Метод целевого перемещения решения (в отличие от методов линейного программирования) позволяет получить требуемый результат и при несовместности системы ограничений. Интерактивность метода предоставляет возможность эксперту на каждом шаге поиска решения изменять формулировку задачи, исходя из его представлений о реализуемости и эффективности. Технология ориентирована на реализацию в виде онлайн-сервисов.

Ключевые слова: ситуационное управление; линейные задачи ситуационного управления; распределение ресурсов; портрет ситуации; метод целевого перемещения решения; онлайн-сервисы

DOI: 10.14357/08696527220412

1 Введение

В наши дни интенсивного развития облачных вычислений и интернет-сервисов различного назначения (навигационных, образовательных и др.) внимание исследователей и разработчиков информационных технологий привлечено к идее комплексной автоматизации различных видов деятельности на основе интернет-сервисов. С середины 1990-х гг. значение успешной реализации этой идеи [получившей название *digital economy* (цифровая экономика)] неуклонно растет и связывается с конкурентоспособностью корпораций и стран [1–3]. В 2017 г. в нашей стране утверждена программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [4].

Увеличиваются темпы применения технологий M2M (Machine-to-Machine) [5, 6], IoT (Internet of Things) [7, 8] и IoS (Internet of Services) [9–12], которые становятся эффективным средством цифровизации различных областей деятельности. Растет число M2M-, IoT- и IoS-применений в энергетике, промышленности, сельском хозяйстве, здравоохранении и других сферах деятельности. Темпы распространения технологий M2M, IoT и IoS во многом

¹Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, ilyin@res-plan.com

²Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, vdilyin@yandex.ru

определяются снижением стоимости вычислительных устройств и передачи данных, ростом доступности гибких систем хранения и анализа данных (благодаря развитию «облачных» технологий и технологий «больших данных»).

Постоянно актуальной остается проблема методологического обеспечения технологий решения задач ситуационного управления сложными человеко-машинными системами [13–16].

О применимости методов линейного программирования. Применимость методов линейного программирования (ЛП) [17] для решения линейных задач ситуационного управления существенно ограничена предположением о том, что прогнозируемые входные данные, используемые для поиска решения, совпадают с реальными при реализации решения. Известно, что в практически значимых ЛП-задачах решений, как правило, не существует из-за несовместности системы ограничений. Кроме того, расчетные входные данные могут значительно отличаться от реальных в процессе реализации решения. В предельных случаях за время между получением решения и его реализацией могут измениться множество основных переменных и система ограничений.

Обычно ЛП-задачи решаются симплекс-методом [17] или методом внутренних точек [18]. Решения могут быть найдены только при совместности системы ограничений. В случае несовместности может быть решена задача поиска чебышёвской точки, которая также решается симплекс-методом. Известно, что, во-первых, ЛП-задача относится к числу математически некорректных (из-за неустойчивости решения к малым изменениям входных данных) [19]; во-вторых, решения, найденные как чебышёвская точка, неприменимы, так как нарушают заданные ограничения.

Чтобы создать метод решения практически значимых линейных задач, была предложена идея неформальной постановки таких задач на основе *систем обязательных и ориентирующих требований* [15, 20]. Идея была реализована в *методе целевого перемещения решения* [20–24].

2 Портреты ситуаций: формирование и анализ

Целевой будем называть ситуацию, которую планируется создать в результате управляющего воздействия на объект ситуационного управления; *стартовой* — применительно к которой проектируется управляющее воздействие; *достигнутой* — полученную в результате управляющего воздействия.

Портрет ситуации — описание, включающее данные о состоянии объекта, располагаемых вариантах управляющих воздействий и ресурсного обеспечения их реализации [15].

Комплекс формирования и анализа портретов ситуаций работает в соответствии с *системой правил* $\langle R, S \rangle$, где R — множество правил; $S \subseteq R \times R$ — бинарное отношение на R . *Правило* имеет вид либо $D_1 \Rightarrow D_2$, либо $D \Rightarrow I$ (здесь D , D_1 и D_2 — произвольные описания; I — любая инструкция). Правила упорядочены с помощью отношения *специализации* S , замыкание S° которого

иррефлексивно (т. е. ни для какого $r \in R$ не имеет места $\langle r, r \rangle \in S^\circ$; замыкание отношения S — множество S° пар $\langle r, r' \rangle$ таких, что $\langle r', r'' \rangle \in S^\circ$ в том и только в том случае, когда существует последовательность правил $r' = r_0, r_1, \dots, r_m = r''$ ($m \geq 1$), причем $\langle r_i, r_{i+1} \rangle \in S$ для каждого $0 \leq i \leq m-1$). Если для любых двух правил r_1 и r_2 указано, что r_2 является *специализацией* r_1 , то r_1 является *обобщением* r_2 . Каждое *правило-специализация* предназначено для срабатывания в более частных ситуациях, чем соответствующее *правило-обобщение*. Любое правило-специализация имеет приоритет в срабатывании перед соответствующим правилом-обобщением.

Механизм интерпретации запроса на множестве правил указывает, какие правила и в каком порядке применять, а также какие описания считать истинными. Запрос представляет собой набор данных, который включает значения параметров пространства состояний объекта, спецификации располагаемых типов управляющих воздействий и ресурсов, необходимых для реализации воздействий [21].

3 Общая линейная задача распределения ресурсов, решаемая методом целевого перемещения решения

Пусть a_{ij} ($i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$) — расход i -го ресурса при единичной интенсивности использования j -го варианта (средства) деятельности; b_i ($i = 1, \dots, m$) — располагаемый объем i -го ресурса; x_j ($j = 1, \dots, n$) — искомая интенсивность использования j -го средства. Суммарный расход i -го ресурса выражается линейной формой $a_{i1}x_1 + \dots + a_{in}x_n$. Таким образом, составное требование к искомому распределению имеет вид $\{a_{i1}x_1 + \dots + a_{in}x_n \leq b_i\}$ ($i = 1, \dots, m$). Кроме того, может быть задан набор показателей эффективности общей деятельности: $\{c_{i1}x_1 + \dots + c_{in}x_n\}$ ($i = 1, \dots, k$), где c_{ij} — удельный показатель полезности i -го типа от использования единицы интенсивности действий j -го средства. Для всякого показателя эффективности может быть задано некоторое простое правило. Также могут быть заданы приоритеты требований p_i ($0 < p_i \leq \infty, i \in [1, m+k]$).

В общем случае для каждой ресурсной функции может быть определено двустороннее ограничение (конъюнкция двух простых требований). Таким образом, общую систему требований можно записать в следующем виде:

$$\{[b_i \leq] a_{i1}x_1 + \dots + a_{in}x_n [\leq B_i] [p_i]; x_j \geq 0\} \quad (i = 1, \dots, m+k, j = 1, \dots, n)$$

(все коэффициенты ресурсных ограничений и показателей эффективности обозначены через a_{ij} ; квадратные скобки обозначают необязательность задания ограничений и приоритетов; переменные x_j неотрицательны в соответствии со смыслом задачи).

Простое требование может быть представлено одной из трех форм:

$$F_i(x) = c_i[p_i]; \quad F_i(x) \leq c_i[p_i]; \quad F_i(x) \geq c_i[p_i],$$

где $F_i(\mathbf{x})$ — i -я функция (например, ресурсная или оценочная); $\mathbf{x}$ — вектор решения (здесь и далее векторы и матрицы выделены жирным шрифтом); c_i — константа; p_i — приоритет требования ($0 < p_i \leq \infty$) (квадратные скобки обозначают необязательность задания приоритета). *Составное требование* — логическая комбинация простых требований, полученная с помощью логических связей конъюнкции, дизъюнкции и отрицания ($\wedge$, $\vee$ и $\neg$). *Обязательные требования* не могут быть нарушены (имеют абсолютный приоритет $p_i = \infty$). *Ориентирующие требования* задают предпочтительные значения функций ($p_i > 0$).

Задача заключается в отыскании вектора распределения ресурсов $\mathbf{x} = (x_1 \cdots x_n)$, которому соответствуют значения ресурсных функций, оцениваемые экспертом как наиболее эффективные в данной ситуации.

В процессе поиска решения эксперт решает некоторую последовательность частных задач, имеющих формальные постановки и алгоритмы, и выполняет сравнительный анализ решений [24].

Начальное решение (начальная точка) может быть выбрано экспертом произвольно. По умолчанию предлагается компромиссное решение (чебышёвская точка). На любом шаге поиска решения эксперт, проанализировав значения функций в составе требований и оценив степень эффективности и реализуемости найденного решения, может изменить любые требования. В частности, может зафиксировать значение некоторой функции (если оно устраивает его). Таким образом эксперт пошагово приближается к решению, по его мнению, сочетающему свойства эффективности и реализуемости. Любое решение может быть занесено в базу возможных решений для последующего анализа.

Шаг целевого перемещения решения выполняется следующим способом. Пусть $\mathbf{x}' = (x'_1 \cdots x'_n)$ ($x'_j \geq 0$, $j = 1, \dots, n$) — решение, полученное на предыдущем шаге, и сформированы правила перемещения из $\mathbf{x}'$ в целевую точку $\mathbf{x} = (x_1 \cdots x_n)$ ($x_j \geq 0$, $j = 1, \dots, n$):

$$\{F_i(\mathbf{x}) = F_i(\mathbf{x}') + h_i[p_i]\},$$

где $F_i(\mathbf{x}) = a_{i1}x_1 + \cdots + a_{in}x_n$, $i = 1, \dots, l$; $0 < p_i \leq \infty$ для $h_i \neq 0$, $p_i = \infty$ для $h_i = 0$.

Формально система правил может быть несовместной. Поэтому правила с $h_i \neq 0$ рассматриваются как *ориентирующие*, а h_i — как *задающий шаг* (нередко отличающийся от реального шага, который может быть получен для данного набора правил). Если реальные и задающие шаги имеют один и тот же знак для всех правил, новая точка в любом случае повышает эффективность решения.

Точка $\mathbf{x}$ отыскивается следующим образом. Сначала вычисляется проекция точки на гиперплоскость

$$a_{i1}x_1 + \cdots + a_{in}x_n = F_i(\mathbf{x}') + h_i \quad \forall h_i \neq 0.$$

Направляющий вектор нормали к этой гиперплоскости равен $(a_{i1} \cdots a_{in})$. Чтобы найти проекцию, необходимо дать переменным приращения $ha_{i1} \cdots ha_{in}$ (где h — неизвестное число). Перемещение по нормали дает приращение функции $h(a_{i1}^2 + \cdots + a_{in}^2)$, которое должно быть равно h , так что $h = h_i/(a_{i1}^2 + \cdots + a_{in}^2)$ (естественно, $a_{i1}^2 + \cdots + a_{in}^2 \neq 0$). Таким образом получается проекция

$$\left(x'_1 + \frac{a_{i1}h_1}{a_{i1}^2 + \cdots + a_{in}^2}\right) \cdots \left(x'_n + \frac{a_{in}h_n}{a_{i1}^2 + \cdots + a_{in}^2}\right).$$

Когда проекции найдены $\forall h_i \neq 0$, ищутся требуемые приращения по всем переменным: $\Delta x_{ji} = a_{ij}h_i/(a_{i1}^2 + \cdots + a_{in}^2)$ ($j = 1, \dots, n$; индексы функций пробегает значения от 1 до s , $1 \leq s \leq l$). Далее вычисляется конец среднедействующей векторов-нормалей

$$x_j = x'_j + \frac{p_1\Delta x_{j1} + \cdots + p_s\Delta x_{js}}{p_1 + \cdots + p_s} \quad (j = 1, \dots, n).$$

Такая точка ближе к тем гиперплоскостям, которые соответствуют правилам с более высокими приоритетами. Если приоритеты не были установлены, они полагаются равными 1 и получают следующие формулы:

$$x_j = x'_j + \frac{\Delta x_{j1} + \cdots + \Delta x_{js}}{s} \quad (j = 1, \dots, n).$$

Если $\exists k : h_k = 0$ ($1 \leq k \leq l$), конец среднедействующей проецируется на гиперплоскость $a_{k1}x_1 + \cdots + a_{kn}x_n = F_k(x')$; в противном случае на роль искомой точки $\mathbf{x}$ претендует конец среднедействующей. Затем контролируется неотрицательность переменных ($x_j \geq 0$, $j = 1, \dots, n$): отрицательные обнуляются. И, наконец, проверяется совпадение знаков реальных и задающих шагов. Если они совпадают для всех правил, вычисленная точка считается целевой точкой $\mathbf{x}$. Если не совпадают, эксперту предлагается скорректировать систему правил.

Сравнение результатов, полученных с помощью программно реализованного метода целевого перемещения решения, с результатами, полученными с помощью программы LINGO [25], реализующей симплекс-метод [17], приведено в [24].

4 Заключение

Подход к решению линейных задач ситуационного управления методом целевого перемещения решения создан на основе концепций ситуационного управления [13, 14], поддержки принятия решений в нештатных ситуациях [16] и ситуационной информатизации [15]. Обновленная версия метода целевого перемещения решения содержит ряд уточнений предыдущего варианта [22, 24].

Технология решения последовательности задач в режиме вычислительного эксперимента ориентирована на реализацию в виде интернет-сервиса [10]. Эта технология позволяет эксперту (или обучаемому роботу) отыскивать решения, соответствующие его представлениям о реализуемости и эффективности. Представления, зависящие от опыта и информированности эксперта, могут изменяться с изменением ситуации.

Программно реализованная технология прошла проверку на задачах производственного планирования (по назначению аналогичных рассматриваемым в [26–29]), ресурсного обоснования решений при планировании операций в условиях чрезвычайных ситуаций и др. [24].

Литература

1. *Tapscott D.* The digital economy: Promise and peril in the age of networked intelligence. — New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1996. 342 p.
2. *Christensen C. M.* The innovator's dilemma: When new technologies cause great firms to fail. — Boston, MA, USA: Harvard Business School Press, 1997. <http://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=46>.
3. The new digital economy: How it will transform business. — Oxford, U.K.: Oxford Economics, 2015. 34 p. <http://www.pwc.com/mt/en/publications/assets/the-new-digital-economy.pdf>.
4. Цифровая экономика Российской Федерации: Программа, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р. 87 с. <http://d-russia.ru/wp-content/uploads/2017/07/programma-tsifrov-econ.pdf>.
5. *Kim R. Y.* Efficient wireless communications schemes for machine to machine communications // Comm. Com. Inf. Sc., 2011. Vol. 181. No. 3. P. 313–323.
6. *Lien S. Y., Liao T. H., Kao C. Y., Chen K. C.* Cooperative access class barring for machine-to-machine communications // IEEE T. Wirel. Commun., 2012. Vol. 11. No. 1. P. 27–32.
7. *Perera C., Liu C. H., Jayawardena S.* The emerging Internet of Things marketplace from an industrial perspective: A survey // IEEE T. Emerging Topics Computing, 2015. Vol. 3. No. 4. P. 585–598.
8. «Интернет вещей» (IoT) в России. Технология будущего, доступная уже сейчас // Новости ИТ-канала, 4 августа 2017 г. 64 с. <https://ru.investinrussia.com/data/file/IoT-inRussia-research-rus.pdf>.
9. *Jede A., Teuteberg F.* Understanding socio-technical impacts arising from software as-a-service usage in companies // Bus. Inf. Syst. Eng., 2016. Vol. 58. No. 3. P. 161–176.
10. *Ильин А. В.* Интернет-сервисы планирования ресурсов, 2016. <https://www.resplan.com>.
11. Five benefits of Software as a Service. Trumba Corporation, 2017. http://www.trumba.com/connect/knowledgecenter/pdf/SaaS_paper_WP-001.pdf.
12. Internet Services // Tutorialspoint, 2018. http://www.tutorialspoint.com/internet-technologies/internet_services.htm.

13. Клыков Ю. И. Ситуационное управление большими системами. — М.: Энергия, 1974. 241 с.
14. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика. — М.: Наука, 1986. 288 с.
15. Ильин В. Д. Основания ситуационной информатизации. — М.: Наука, Физматлит, 1996. 180 с.
16. Геловани В. А., Башлыков А. А., Бритков В. Б., Вязилов Е. Д. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды. — М.: Эдиториал УРСС, 2001. 304 с.
17. Dantzig G. B. Linear programming and extensions. — Princeton, NJ, USA: Princeton University Press and the RAND Corp., 1963. 656 p.
18. Karmarkar N. A new polynomial-time algorithm for linear programming // *Combinatorica*, 1984. Vol. 4. No. 4. P. 373–395.
19. Tikhonov A. N., Arsenin V. Y. Solutions of ill-posed problems. — New York, NY, USA: Winston, 1977. 258 p.
20. Ильин А. В., Ильин В. Д. Архитектура вычислительного ядра комплекса программных средств ресурсного обоснования решений. — М.: ИПИ РАН, 1995. 23 с.
21. Ильин В. Д., Гавриленко Ю. В., Ильин А. В., Макаров Е. М. Математические средства ситуационной информатизации. — М.: Наука, Физматлит, 1996, 88 с.
22. Ильин А. В. Математическое обеспечение процессов преобразования ресурсов // *Системы и средства информатики*, 1999. Вып. 9. С. 159–177.
23. Ильин А. В., Ильин В. Д. Интерактивный преобразователь ресурсов с изменяемыми правилами поведения // *Информационные технологии и вычислительные системы*, 2004. № 2. С. 67–77.
24. Ильин А. В. Экспертное планирование ресурсов. — М.: ИПИ РАН, 2013. 58 с.
25. Schrage L. Optimization modeling with LINGO. — Lindo Systems Inc., 1998. 550 p. https://www.lindo.com/downloads/Lingo_Textbook_5thEdition.pdf.
26. Al-Mashari M. Enterprise resource planning (ERP) systems: A research agenda // *Ind. Manage. Data Syst.*, 2002. Vol. 103. No. 1. P. 22–27.
27. Umble E. J., Haft R. R., Umble M. M. Enterprise resource planning: Implementation procedures and critical success factors // *Eur. J. Oper. Res.*, 2003. Vol. 146. No. 2. P. 241–257.
28. Marnewick C., Labuschagne L. A conceptual model for enterprise resource planning (ERP) // *Information Management Computer Security*, 2005. Vol. 13. No. 2. P. 144–155.
29. Atoako-Gyampah K. Perceived usefulness, user involvement and behavioral intention: An empirical study of ERP implementation // *Comput. Hum. Behav.*, 2007. Vol. 23. No. 3. P. 1232–1248.

Поступила в редакцию 14.08.22

METHOD OF TARGET DISPLACEMENT OF SOLUTION IN SITUATIONAL MANAGEMENT TECHNOLOGIES

A. V. Ilyin¹ and V. D. Ilyin²

¹State Research Institute of Aviation Systems, 7 Viktorenko Str., Moscow 125319, Russian Federation

²Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

Abstract: The updated technology for interactive solving of linear problems of situational management by the method of target displacement of solution is considered. The formulations of tasks and the requirements for the quality of solutions are based on the analysis of portraits of the target and achieved situations. The method of target displacement of solution (as opposed to the standard linear programming methods) allows the expert to get the desired result even if the constraints system is incompatible. The interactivity of the method allows the expert to change the problem formulation at each step of the solution search based on his/her opinion on the feasibility and effectiveness. The technology is focused on implementation in the form of online service.

Keywords: situational management; linear problems of situational management; resources allocation; portrait of the situation; method of target displacement of solution; online service

DOI: 10.14357/08696527220412

References

1. Tapscott, D. 1996. *The digital economy: Promise and peril in the age of networked intelligence*. New York, NY: McGraw-Hill. 342 p.
2. Christensen, C. M. 1997. *The innovator's dilemma: When new technologies cause great firms to fail*. Boston, MA: Harvard Business School Press. Available at: <http://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=46> (accessed February 4, 2018).
3. *The new digital economy: How it will transform business*. 2015. Oxford, U.K.: Oxford Economics. 34 p. Available at: <http://www.pwc.com/mt/en/publications/assets/the-new-digital-economy.pdf> (accessed September 12, 2022).
4. Tsifrovaya ekonomika Rossiyskoy Federatsii: Programma, utverzhennaya rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 28 iyulya 2017 g. No. 1632-r [The program “Digital Economy of the Russian Federation” approved by Government Order No. 1632-r dated July 28, 2017]. 87 p. Available at: <http://d-russia.ru/wp-content/uploads/2017/07/programma-tsifrov-econ.pdf> (accessed September 12, 2022).
5. Kim, R. Y. 2011. Efficient wireless communications schemes for machine to machine communications. *Comm. Com. Inf. Sc.* 181(3):313–323.
6. Lien, S. Y., T. H. Liao, C. Y. Kao, and K. C. Chen. 2012. Cooperative access class barring for machine-to-machine communications. *IEEE T. Wirel. Commun.* 11(1):27–32.

7. Pereyra, C., C. H. Liu, and S. Jayawardena. 2015. The emerging Internet of Things marketplace from an industrial perspective: A survey. *IEEE T. Emerging Topics Computing* 3(4):585–598.
8. PWC. 2017. “Internet veshchey” (IoT) v Rossii. Tekhnologiya budushchego, dostupnaya uzhe seychas [“Internet of Things” (IoT) in Russia. Technology of the future, available now]. 64 p. Available at: <https://ru.investinrussia.com/data/file/IoT-inRussia-research-rus>. (accessed October 27, 2022).
9. Jede, A., and F. Teuteberg. 2016. Understanding socio-technical impacts arising from software as-a-service usage in companies. *Bus. Inf. Syst. Eng.* 58(3):161–176.
10. Ilyin, A. V. 2016. Internet-servisy planirovaniya resursov [Online resource planning services]. Available at: <https://www.res-plan.com> (accessed September 12, 2022).
11. Trumba Corp. 2017. Five benefits of software as a service. https://www.trumba.com/connect/knowledgecenter/pdf/Saas_paper_WP-001.pdf (accessed September 12, 2022).
12. Internet services. 2018. Tutorialspoint. http://www.tutorialspoint.com/internet_technologies/internet_services.htm (accessed September 12, 2022).
13. Klykov, Yu. I. 1974. *Situatsionnoe upravlenie bol'shimi sistemami* [Situational management of large systems]. Moscow: Energiya. 241 p.
14. Pospelov, D. A. 1986. *Situatsionnoe upravlenie: teoriya i praktika* [Situational management: Theory and practice]. Moscow: Nauka. 288 p.
15. Ilyin, V. D. 1996. *Osnovaniya situatsionnoy informatizatsii* [Fundamentals of situational informatization]. Moscow: Nauka, Fizmatlit. 180 p.
16. Gelovani, V. A., A. A. Bashlykov, V. B. Britkov, and E. D. Vyazilov. 2001. *Intellektual'nye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy v neshtatnykh situatsiyakh s ispol'zovaniem informatsii o sostoyanii prirodnoy sredy* [Intelligent decision support systems in emergency situations using information about the state of the natural environment]. Moscow: URSS. 304 p.
17. Dantzig, G. B. 1963. *Linear programming and extensions*. Princeton, NJ: Princeton University Press and the RAND Corp. 656 p.
18. Karmarkar, N. 1984. A new polynomial-time algorithm for linear programming. *Combinatorica* 4(4):373–395.
19. Tikhonov, A. N., and V. Y. Arsenin. 1977. *Solutions of ill-posed problems*. New York, NY: Winston. 258 p.
20. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 1995. *Arkhitektura vychislitel'nogo yadra kompleksa programnykh sredstv resursnogo obosnovaniya resheniy* [Architecture of computational kernel of software designed to search for resource management decisions]. Moscow: Institute of Informatics Problems of the Russian Academy of Sciences. 23 p.
21. Ilyin, V. D., Yu. V. Gavrilenko, A. V. Il'in, and E. M. Makarov. 1996. *Matematicheskie sredstva situatsionnoy informatizatsii* [Mathematical means of situational informatization]. Moscow: Nauka, Fizmatlit. 88 p.
22. Ilyin, A. V. 1999. Matematicheskoe obespechenie protsessov preobrazovaniya resursov [Mathematical means of resource transformation processes]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 9:159–177.
23. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2004. Interaktivnyy preobrazovatel' resursov s izmenyaemyi pravilami povedeniya [Interactive resource converter with customisable rules of behavior]. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy* [J. Information Technologies and Computing Systems] 2:67–77.

24. Ilyin, A. V. 2013. *Ekspertnoe planirovanie resursov* [Expert resource planning]. Moscow: Institute of Informatics Problems of the Russian Academy of Sciences. 58 p.
25. Schrage, L. 1998. *Optimization modeling with LINGO*. Lindo Systems Inc. 550 p. https://www.lindo.com/downloads/Lingo_Textbook_5thEdition.pdf.
26. Al-Mashari, M. 2002. Enterprise resource planning (ERP) systems: A research agenda. *Ind. Manage. Data Syst.* 103(1):22–27.
27. Umble, E. J., R. R. Haft, and M. M. Umble. 2003. Enterprise resource planning: Implementation procedures and critical success factors. *Eur. J. Oper. Res.* 146(2):241–257.
28. Marnewick, C., and L. Labuschagne. 2005. A conceptual model for enterprise resource planning (ERP). *Information Management Computer Security* 13(2):144–155.
29. Amoako-Gyampah, K. 2007. Perceived usefulness, user involvement and behavioral intention: An empirical study of ERP implementation. *Comput. Hum. Behav.* 23(3):1232–1248.

Received August 14, 2022

Contributors

Ilyin Alexander V. (b. 1975) — Candidate of Science (PhD) in technology, leading scientist, State Research Institute of Aviation Systems, 7 Vikorenko Str., Moscow 125319, Russian Federation; ilyin@res-plan.com

Ilyin Vladimir D. (b. 1937) — Doctor of Science in technology, professor, leading scientist, A. A. Dorodnicyn Computing Center, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 40 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; vdilyin@yandex.ru

ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС ИНТЕГРИРОВАННОГО МЕТОДА ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ТОЧЕЧНЫХ МОДЕЛЕЙ

Р. Н. Одинаев¹, П. Л. Назруллоев², Ф. Раимзода³

Аннотация: Под интегрированным методом защиты агроценозов понимается комплексное применение химических, биологических, агротехнических, механических и других способов защиты от вредителей. Параметрами интегрированного метода защиты служат уровни эффективности энтомофагов и уровни вредоносности вредителей, которые представлены в виде математических формул. В данной статье рассматриваются задачи оптимального управления, связанные с биологическими системами, имеющими три трофических уровня — «растение – вредные насекомые – полезные насекомые», и процессами защиты растений с учетом поступающего внешнего ресурса. Для модельной биосистемы сформулированы и обоснованы необходимые условия решения оптимизационного процесса защиты растений от вредителей. Доказан принцип максимума Понтрягина для задач оптимального управления, связанного с модельными биосистемами.

Ключевые слова: оптимальное управление; агроценоз; вредные насекомые; полезные насекомые; интегрированный метод; защита растений; численность насекомых; функционал стоимости; точечная модель

DOI: 10.14357/08696527220413

1 Введение

Данная статья продолжает исследование [1]. Известно, что одна из основных проблем сельского хозяйства — эффективная борьба с вредителями сельскохозяйственных культур, которая включает две задачи. Первая задача — определение порогов вредоносности вредителей и уровней эффективности полезных насекомых (на практике эту задачу обычно называют подготовительной). Вторая задача — применение интегрированного метода борьбы (комплекс агротехнических, химических и биологических мероприятий) для защиты сельхозкультуры. Первая задача была рассмотрена в [1], исследование второй задачи приводится в данной статье.

Для прогнозирования и использования комплекса мероприятий для защиты урожая сельскохозяйственных культур от вредных насекомых следует учитывать, в каком отношении находятся биологические параметры соответствующих популяций рассматриваемой биосистемы [2, 3].

¹Таджикский национальный университет, Душанбе, raim_odinaev@mail.ru

²Таджикский национальный университет, Душанбе, npl-93@mail.ru

³Таджикский национальный университет, Душанбе, raimzoda@mail.ru

2 Оптимизационный процесс защиты растений для точечных моделей

Рассмотрим некоторый агроценоз, имеющий три трофических уровня, состояние которого описывается при помощи системы дифференциальных уравнений [4]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dN_0}{dt} &= Q + F_0(N_0, N_1); \\ \frac{dN_1}{dt} &= N_1 F_1(N_0, N_1, N_2); \\ \frac{dN_2}{dt} &= N_2 F_2(N_1, N_2, N_3); \\ \frac{dN_3}{dt} &= N_3 F_3(N_2, N_3), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $N_i = N_i(t)$, $i = 0, 1, 2, 3$: $N_0 = N_0(t)$ — масса внешнего ресурса (удобрения, вода для полива или солнечная энергия), $N_1 = N_1(t)$ — биомасса растений, $N_i = N_i(t)$ — численность вредных ($i = 2$) и полезных ($i = 3$) насекомых в момент времени t ; $Q = Q(t)$ — скорость поступления внешнего ресурса; $F_i = F_i(\cdot)$ — удельная скорость роста i -го трофического уровня, $i = 0, 1, 2, 3$.

Для модельного агроценоза (1) задается начальное условие

$$N_i|_{t=0} = N_i^0, \quad i = 0, 1, 2, 3.$$

Сформулируем задачу управления в терминах модельного агроценоза (1). Предположим, что N_1^p — заданный уровень биомассы сельскохозяйственной культуры, меньше которого не должна стать ее средняя биомасса:

$$N_1 \geq N_1^p, \quad N_1^p \in [N_1^{\min}, N_1^{\max}], \quad (2)$$

где $[N_1^{\min}, N_1^{\max}]$ — Const > 0. Рассмотрим неравенства

$$N_2 \leq N_2^p; \quad N_3 \geq N_3^p, \quad (3)$$

где $N_2^p \geq 0$ и $N_3^p \geq 0$ — неизвестные параметры, и введем определения.

Определение 1. Величины N_2^p и N_3^p назовем критическими значениями трофических уровней (соответственно пороги вредоносности вредителей и уровни эффективности энтомофагов, т. е. полезных насекомых), если для всех $N_i = N_i(t)$, $i = \overline{0, 3}$, удовлетворяющих (1) и неравенствам (3), имеет место (2).

Определение 2. Скажем, что подготовительная задача управления агроценозами имеет решение, если при некотором $N_1^p \in [N_1^{\min}, N_1^{\max}]$ и всех решениях (1) имеют место (2) и (3).

Может оказаться, что при некоторых значениях параметров и функций рассмотренного модельного агроценоза системы (1) подготовительная задача защиты растений не имеет решения, т. е. условия (2) и (3) не выполняются. Тогда придется решать задачу оптимального управления агроценозами. Это означает, что против вредителей должен применяться интегрированный метод борьбы (комплекс агротехнических, химических и биологических мероприятий) для защиты сельхозкультуры. Математически это означает введение членов $\mu(D)N_2$ и $\alpha\mu(D)N_3 + PN_3$ соответственно в правые части 3-го и 4-го уравнений системы (1). Здесь $\mu = \mu(D)$ — функция «доза–эффект» от применения дозы $D = D(t)$, доли погибших хищников и паразитов после химической обработки; $P = P(t)$ — биологическое управление, т. е. удельная скорость запуска полезных насекомых на поле. Агротехнические мероприятия учтены введением члена $Q = Q(t)$ в правой части 1-го уравнения системы (1). Предполагается, что параметры управления $(Q, P, D) = u \in U$, где U — допустимое множество (кусочно-непрерывные и ограниченные управления). Пусть вышесказанные изменения внесены в модельный агроценоз. Тогда задача оптимального управления (оптимизация процесса защиты) модельным агроценозом математически формулируется следующим образом [4, 5].

Требуется минимизировать функционал (суммарный ущерб или затраты)

$$I(u) = \int_0^{t_k} f^0(N_1, N_2, N_3, u) dt + \varphi(N_1, N_2, N_3, u) \quad (4)$$

при условиях

$$\left. \begin{aligned} \frac{dN_0}{dt} &= Q + F_0(N_0, N_1); \\ \frac{dN_1}{dt} &= N_1 F_1(N_0, N_1, N_2); \\ \frac{dN_2}{dt} &= N_2 F_2(N_1, N_2, N_3) - \mu(D)N_2; \\ \frac{dN_3}{dt} &= N_3 F_3(N_2, N_3) - \alpha\mu(D)N_3 + PN_3; \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$N_i|_{t=0} = N_i^0, \quad i = 0, 1, 2, 3,$$

где $f^0 = f^0(\cdot)$ характеризует ущерб со стороны вредителей и затраты на реализацию биологического и химического методов борьбы и на использование удобрений, воды; $\varphi = \varphi(\cdot)$ — аналогичный ущерб при $t = t_k$. В дальнейшем будем предполагать, что функции $\varphi = \varphi(\cdot)$, $f^0 = f^0(\cdot)$ и $F_i = F_i(\cdot)$ имеют непрерывные частные производные первого порядка по совокупности своих переменных и

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial F_i}{\partial N_i} \leq 0, \quad \frac{\partial F_i}{\partial N_j} \begin{cases} \leq 0, & i < j, i = \overline{0, 3}; \\ \geq 0, & i > j, j = \overline{0, 3}; \end{cases} \\ F_i(\cdot) \geq 0; \quad \varphi(\cdot) \geq 0; \quad f^0(\cdot) \geq 0, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

а функция $\mu = \mu(D)$ удовлетворяет условиям

$$\mu = \mu(D) \geq 0; \quad \frac{d\mu}{dD} \geq 0; \quad \frac{d^2\mu}{dD^2} \leq 0$$

при $D \geq 0$. Заметим, что условия (6) следуют из самой сущности биологической задачи.

Теорема 1. Пусть имеют место условия (6) и

$$f^0(\cdot) = CN_2 + C_P PN_3 + C_D D + Q; \quad \varphi(\cdot) = CN_2 + C_P PN_3 + C_D D + Q.$$

Тогда оптимальное управление задачи (4)–(5) характеризуется соотношениями:

$$\left. \begin{aligned} Q^* &= \begin{cases} Q_{\max}, & \psi > 1; \\ 0, & \psi_0 < 1; \end{cases} \\ P^* &= \begin{cases} P_{\max}, & \psi_3 > C_P; \\ 0, & \psi_3 < C_P; \end{cases} \\ D^* &= \begin{cases} D_{\max}, & C_D + \psi_2 N_2 + \alpha \psi_3 N_3 < 0; \\ 0, & C_D + \psi_2 N_2 + \alpha \psi_3 N_3 > 0, \mu(D) \equiv D; \\ -\mu_0 + \sqrt{-\frac{\mu_0 \mu_1}{C_D} (\psi_2 N_2 + \alpha \psi_3 N_3)}, & \\ \psi_2 N_2 + \alpha \psi_3 N_3 < 0, \mu(D) = \frac{\mu_1 D}{\mu_0 + D}, \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где $\mu_0, \mu_1, Q_{\max}, P_{\max}, C, C_P$ и C_D — заданные положительные числа, (C, C_P и C_D — соответственно стоимости единицы биомассы вредителя, затраты на химические и биологические методы борьбы); $\psi_i = \psi_i(t)$ — решения сопряженной с (5) задачи, $i = 0, 1, 2, 3$.

Доказательство. Составим функцию Гамильтона–Понтрягина для задачи (4)–(5):

$$\begin{aligned} H = & -CN_2 - C_P PN_3 - C_D D - Q + \psi_0 [Q + F_0(N_0, N_1)] + \psi_1 N_1 F_1(N_0, N_1, N_2) + \\ & + \psi_2 N_2 [F_2(N_1, N_2, N_3) - \mu(D)] + \psi_3 N_3 [F_3(N_2, N_3) - \alpha \mu(D) + P]. \end{aligned}$$

Отсюда

$$H = (\psi_0 - 1)Q + (\psi_3 - C_P)PN_3 + [-C_D D - \psi_2 N_2 \mu(D) - \alpha N_3 \psi_3 \mu(D)] - \\ - CN_2 + \sum_{i=1}^3 \psi_i F_i(\cdot).$$

Из условия максимума функции H по u получим (7). Так как

$$\psi_i = -\frac{\partial H}{\partial N_i}; \quad \psi_i(t_k) = -\frac{\partial \psi}{\partial N_i} \Big|_{t_k}, \quad i = 0, 1, 2, 3,$$

то имеем

$$\left. \begin{aligned} \dot{\psi} &= A^* \psi + b, \quad b = (0, 0, c, 0); \\ \psi(t_k) &= -\psi^0, \quad \psi^0 = b. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Здесь $A^* = (a_{ij})$, $a_{ij} = \partial F_i / \partial N_j$; $F_i = F_i(\cdot)$, — i -я правая часть системы (5):

$$A^* = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_0}{\partial N_0} & N_1 \frac{\partial F_1}{\partial N_0} & 0 & 0 \\ \frac{\partial F_2}{\partial N_1} & N_1 \frac{\partial F_1}{\partial N_1} + F_1 & N_2 \frac{\partial F_2}{\partial N_1} & 0 \\ 0 & N_1 \frac{\partial F_1}{\partial N_2} & N_2 \frac{\partial F_2}{\partial N_2} + F_2 - \mu & N_3 \frac{\partial F_3}{\partial N_2} \\ 0 & 0 & N_2 \frac{\partial F_2}{\partial N_3} & N_3 \frac{\partial F_3}{\partial N_3} + F_3 - \alpha \mu + P \end{bmatrix};$$

$$b = \left(0, \frac{\partial F}{\partial N_1}, \frac{\partial F}{\partial N_2}, \frac{\partial F}{\partial N_3} \right).$$

Решение сопряженной задачи (7) представляется в виде

$$\psi(t) = (I - K)^{-1} \psi_P(t), \quad 0 \leq t \leq t_k, \quad (9)$$

где

$$\psi_P(t) = b \left[(A_0^*)^{-1} - \left(\psi_0 + b (A_0^*)^{-1} \exp(A_0^*(t_k - t)) \right) \right],$$

$$K = \int_t^{t_k} e^{A_0^*(t_k - t)} \Delta A(t) dt, \quad \Delta A(t) = A^*(t) - A_0^*, \quad A_0^* = A^*|_{t_k}.$$

Наряду с системой (5) рассмотрим систему с постоянной матрицей A_0^* :

$$\dot{\psi} = A_0^* \psi + b, \quad \psi(t_k) = -\psi^0. \quad (10)$$

Решение последней задачи представляется в следующем виде:

$$\psi_P(t) = -\psi^0 e^{A_0^*(t_k-t)} - b(A_0^*)^{-1} \left[e^{A_0^*(t_k-t)} - I \right].$$

Теперь введем $\Delta\psi = \psi(t) - \psi_P(t)$, тогда, постепенно из (8) вычитая (10), получим

$$\Delta\dot{\psi} = -A_0^* \Delta\psi - \Delta A \psi, \quad 0 \leq t \leq t_k, \quad \Delta\psi(t_k) = 0.$$

Отсюда

$$\Delta\psi(t) = \int_t^{t_k} e^{A_0^*(\tau-t)} \Delta A(\tau) \psi(\tau) d\tau$$

и, следовательно,

$$\psi(t) = \psi_P(t) + \int_t^{t_k} e^{A_0^*(\tau-t)} \Delta A(\tau) \psi(\tau) d\tau.$$

Тем самым получим систему интегральных уравнений типа Вольтерра. Если ввести функцию

$$K\psi = \int_t^{t_k} e^{A_0^*(\tau-t)} \Delta A(\tau) \psi(\tau) d\tau,$$

получим (9).

Теорема 2. Пусть $N^* = (N_0^*, N_1^*, N_2^*, N_3^*)$ — стационарное решение системы (5). Тогда

$$N(t) \approx N^* + (N^0 - N^*) \sum_{i=0}^3 \frac{e^{A_i t}}{\prod_{i \neq j} (\lambda_j - \lambda_i)} \prod_{i \neq j} (A_0 - \lambda_i I), \quad (11)$$

где λ_i — собственные значения матрицы $A_0 = (a_{ij})$, $i = \overline{0,3}$, $j = \overline{0,3}$; $N^0 = N(0)$.

Доказательство. Пусть $\Delta N = N(t) - N^*$, где $N(t)$ является решением задачи (5): $\dot{N} = f(N)$, $N(0) = N^0$, $f - \lambda_i$, $i = \overline{0,2}$, — правая часть системы (5); N^* — решение $f(N^*) = 0$. Тогда легко видеть, что

$$\Delta\dot{N} \approx A_0 \Delta N, \quad \Delta N(0) = N^0 - N^*,$$

где A_0 — матрица, транспонированная по отношению к A_0^* , и, следовательно, $\Delta N \approx (N^0 - N^*)e^{A_0 t}$.

Принимая во внимание, что $\Delta \dot{N} = N(t) - N^*$, и используя интерполяционную формулу Лагранжа–Сильвестра, получим (11). Собственные значения матрицы A_0 легко находятся из уравнения $\det(\lambda I - A_0) = 0$ в явном виде через элементы матрицы взаимодействия.

Замечание. Стационарное состояние N^* в случае вольтерровского описания модельной экосистемы имеет вид [6, 7]:

$$\begin{aligned} N_0^* &= \frac{-\delta_0 + \sqrt{\delta_0^2 + \delta_1 Q_{\max}}}{2k_0 k_1 - \alpha_0 \alpha_1}; \\ N_1^* &= \frac{\delta_0 + \sqrt{\delta_0^3 + \delta_1 Q_{\max}}}{2k_1 \alpha_1^2 \varepsilon}; \\ N_2^* &= \frac{m_1}{\alpha_1} + \frac{-\delta_0 + \sqrt{\delta_0^2 + \delta_1 Q_{\max}}}{2k_2 \alpha_1 \alpha_2^2}; \\ N_3^* &= \frac{-\delta_0 + \sqrt{\delta_0^2 + \delta_1 Q_{\max}} - 2\alpha_3 [m_1 k_2 \alpha_2 + \alpha_1 (m_3 + 2\mu_1 - P_{\max})]}{2\varepsilon \alpha_1 \alpha_2}, \end{aligned}$$

где δ_i , α_i , k_i , m_i и ε — биологические параметры системы, $i = 0, 1, 2, 3$.

3 Результаты численных экспериментов

В данном разделе приведены результаты численных экспериментов, проведенных с помощью компьютерной программы «Определение оптимальных методов борьбы с вредителями». Компьютерная программа разработана на языке программирования C++, широко используемом в научных, инженерных, математических и компьютерных областях. При расчете двух вариантов получены результаты, приведенные на рис. 1 и 2.

На основе методов теории оптимального управления получены соотношения, которые позволяют определить параметры методов борьбы с вредителями для модельных биосистем. Отметим, что если численность вредителей больше, чем ее пороговое значение, а численность хищников и паразитов не превышает соответственно их пороговых значений, то следует применить биологический метод (см. рис. 1), а в случае, когда численность хищников и паразитов больше, чем пороговые значения, эффективным будет химический метод (см. рис. 2). Заметим, что на основе решения математических задач показано, что химический метод эффективен только в очень редких случаях, а также неэкономичен. Из приведенных результатов видно, что функционал стоимости химического метода

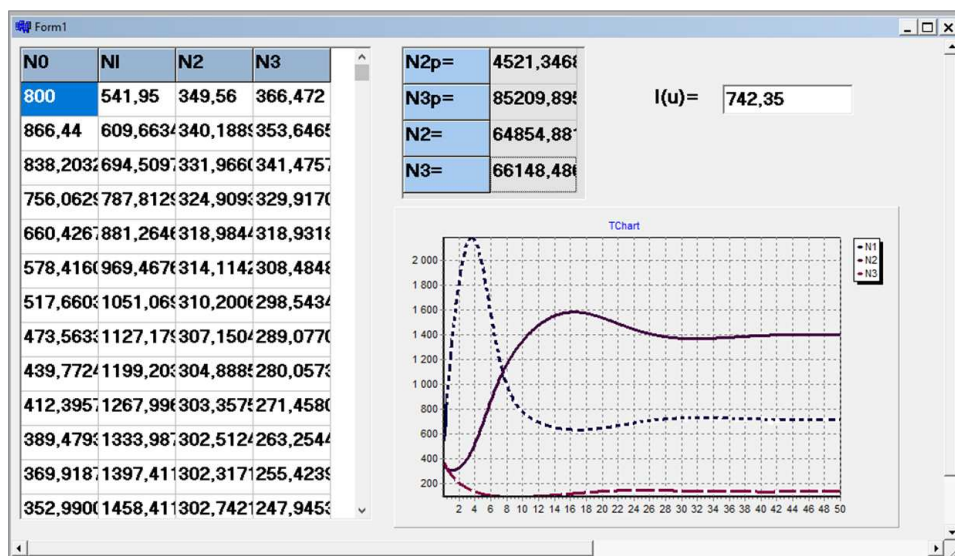


Рис. 1 Скриншот результатов, полученных с помощью программы «Определение оптимальных методов борьбы с вредителями» (биологический метод)

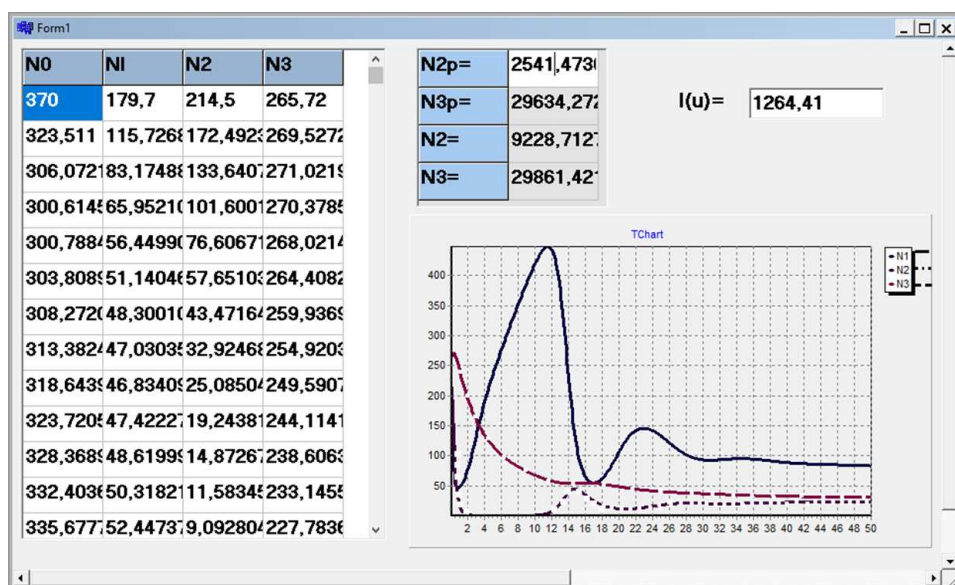


Рис. 2 Скриншот результатов, полученных с помощью программы «Определение оптимальных методов борьбы с вредителями» (химический метод)

защиты $I(u) = 1264,41$ у. е., а при биологическом методе защиты растений — $I(u) = 742,35$ у. е. Отсюда следует, что биологический метод защиты растений экономичен и эффективен.

4 Заключение

Полученные результаты могут применяться при определении оптимальных режимов использования естественных биологических систем.

Литература

1. *Одинаев Р. Н.* Математическая модель задачи защиты растений в биосистеме типа «вредные насекомые – полезные насекомые» с произвольными трофическими функциями // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 1. С. 96–108. doi: 10.14357/08696527190109.
2. *Юнуси(ов) М. К.* О задачах оптимального управления, связанных с моделями агроценозов // Докл. Акад. наук ТаджССР, 1978. Т. 21. № 4. С. 10–14.
3. *Юнусов М. К.* Некоторые математические вопросы охраны популяций животных // Докл. Акад. наук ТаджССР, 1989. Т. 32. № 2. С. 87–92.
4. *Одинаев Р. Н.* Исследование оптимизационного процесса задачи защиты растений с учетом возрастной структуры насекомых // Вестник Таджикского национального университета. Сер. естественных наук, 2017. № 1/3. С. 6–9.
5. *Одинаев Р. Н.* Компьютерный анализ и алгоритм определения неизвестных параметров в задаче защиты растений // Известия ВУЗов Кыргызстана, 2018. № 1. С. 11–14.
6. *Вольтерра В.* Математическая теория борьбы за существование / Пер. с фр. — М.: Наука, 1976. 286 с. (*Volterra V.* Leçons sur la théorie mathématique de la lutte pour la vie. — Paris: Gautiers-Villars, 1931. 222 p.)
7. *Свирижев Ю. М., Логофет Д. О.* Устойчивость биологических сообществ. — М.: Наука, 1978. 352 с.

Поступила в редакцию 29.07.21

OPTIMIZATION PROCESS OF THE INTEGRATED PLANT PROTECTION METHOD FOR DOT MODELS

R. N. Odinaev, P. L. Nazrulloev, and F. Raimzoda

Tajik National University, 17 Rudaki Av., Dushanbe 734025, Republic of Tajikistan

Abstract: An integrated method of protection against pests of agroecosystems is understood as the complex application of chemical, biological, agrotechnical, mechanical, and other methods of protection against harmful insects. The

parameters of the integrated protection method are the level of efficiency of entomophages and the level of harmfulness of pests which are presented in the form of mathematical formulas. The present article discusses the optimal control problems associated with biological systems consisting of three trophic levels “plant – harmful insects – beneficial insects” of the plant protection process taking into account the incoming external resource. For a model biosystem, the necessary conditions for solving the optimization process of plant protection from pests have been formed and substantiated. The Pontryagin maximum principle is proved for optimal control problems associated with model biosystems.

Keywords: optimal control; agrocenosis; beneficial insects; harmful insects; integrated method; plant protection; insect abundance; cost functional; dot model

DOI: 10.14357/08696527220413

References

1. Odinaev, R. N. 2019. Matematicheskaya model' zadachi zashchity rasteniy v biosisteme tipa “vrednye nasekomye – poleznye nasekomye” s proizvol'nymi troficheskimi funktsiyami [A mathematical model of the problem of plant protection in a biosystem of the type “harmful insects – beneficial insects” with arbitrary trophic functions]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(1):96–108. doi: 10.14357/08696527190109.
2. Yunusi(ov), M. K. 1989. O zadachakh optimal'nogo upravleniya, svyazannykh s modelyami agrotsenozov [On optimal control problems associated with models of agrocenoses]. *Dokl. Akad. nauk TadzhSSR* [Herald of the Tajik SSR Academy of Sciences] 21(4):10–14.
3. Yunusov, M. K. 1989. Nekotorye matematicheskie voprosy okhrany populyatsiy zhivotnykh [Some mathematical questions of the protection of animal populations]. *Dokl. Akad. nauk TadzhSSR* [Herald of the Tajik SSR Academy of Sciences] 32(2):87–92.
4. Odinaev, R. N. 2017. Issledovanie optimizatsionnogo protsessa zadachi zashchity rasteniy s uchetom vozrastnoy struktury nasekomykh [Study of the optimization process of the problem of plant protection taking into account the age structure of insects]. *Vestnik Tadzhikskogo natsional'nogo universiteta. Ser. estestvennykh nauk* [Bull. Tajik National University. Ser. Natural Sciences] 1/3:6–9.
5. Odinaev, R. N. 2018. Komp'yuternyy analiz i algoritm opredeleniya neizvestnykh parametrov v zadache zashchity rasteniy [Computer analysis and algorithm for determining unknown parameters in plant protection problems]. *Izvestiya VUZ'ov Kirgystana* [Herald of Kyrgyzstan Universities] 1:11–14.
6. Volterra, V. 1931. *Leçons sur la théorie mathématique de la lutte pour la vie*. Paris: Gautiers-Villars. 222 p.
7. Svirizhev, Yu. M., and D. O. Logofet. 1978. *Ustoychivost' biologicheskikh soobshchestv* [Stability of biological communities]. Moscow: Nauka. 352 p.

Received July 29, 2021

Contributors

Odinaev Raim N. (b. 1964) — Doctor of Science in physics and mathematics, associate professor, dean, Faculty of Mechanics and Mathematics, Tajik National University, 17 Rudaki Av., Dushanbe 734025, Republic of Tajikistan; aim_odinaev@mail.ru

Nazrulloev Parviz L. (b. 1993) — PhD student, Department of Mathematical and Computer Modeling, Tajik National University, 17 Rudaki Av., Dushanbe 734025, Republic of Tajikistan; npl-93@mail.ru

Raimzoda Farrukhshoh (b. 1991) — PhD student, Department of Mathematical and Computer Modeling, Tajik National University, 17 Rudaki Av., Dushanbe 734025, Republic of Tajikistan; raimzoda@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОИСКА ПРИ РЕШЕНИИ ПЕРЕБОРНЫХ ЗАДАЧ В УГЛУБЛЕННОМ КУРСЕ ИНФОРМАТИКИ НА УРОВНЕ ОСНОВНОГО ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

*О. М. Корчажкина*¹

Аннотация: Рассматриваются способы активизации логического мышления учащихся с целью формирования алгоритмических навыков на уроках информатики в средней школе. Анализируются методы оптимизации в традиционных криптоарифметических задачах, составляющих подкласс переборных задач, предложенных Гербертом Саймоном для иллюстрации способов мышления, когда требуется осуществлять многочисленные переборы возможных комбинаций. Предложен визуальный метод оптимизации поиска применительно к решению двух задач Саймона, основанный на закономерностях переноса разрядов при суммировании и представленный в виде простых алгебраических соотношений. Метод легко поддается алгоритмизации и может быть реализован с помощью технологии динамического программирования, используемой для оптимизации решения переборных задач.

Ключевые слова: оптимизация поиска; переборная задача; криптоарифметическая задача; динамическое программирование

DOI: 10.14357/08696527220414

1 Введение

Решение переборных задач может служить эффективным инструментом развития логического мышления как необходимого компонента инженерной культуры учащихся старших классов средней школы [1]. Переборные задачи — это задачи, в которых требуется найти оптимальное решение среди конечного, но часто весьма значительного набора возможных альтернатив путем сравнения их между собой по заданным критериям или значениям параметров. Основной целью при этом выступает умение строить алгоритмы перебора комбинаторных объектов (последовательностей, перестановок, подмножеств, групп) в различных комбинациях [2]. При этом важно сначала представить решение переборной задачи «на бумаге» — в виде некоторого алгоритма, который затем по причине сложности и значительного объема «ручных» вычислительных процедур реализовать с помощью программных средств.

Наиболее эффективно — рационально, быстро и красиво — решение переборных задач воплощается средствами динамического программирования [3–6].

¹Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, olgakomax@gmail.com

Это объясняется тем, что технология динамического программирования эффективно работает для реализации характерных для переборных задач рекурсивных алгоритмов, которые выдают одинаковые результаты для одинаковых подзадач. Поэтому нет необходимости проводить повторные вычисления на каждом следующем шаге: достаточно сохранить промежуточные результаты в соответствующих архивах данных, что экономит время, затрачиваемое на вычисление конечного результата [4, с. 49].

Отсюда следует, что формирование и развитие способности к составлению алгоритмов оптимального поиска при решении переборных задач «вручную» — это первый обязательный (пропедевтический) шаг к обучению конкретным методам динамического программирования, владение которыми укрепляет основы логического, алгоритмического и математического мышления учащихся.

2 Оптимизация поиска в двух криптоарифметических задачах Герберта Саймона

Методология поиска оптимальных решений, разработанная выдающимся американским математиком, экономистом, психологом и кибернетиком Гербертом Саймоном (1916–2001), базируется на логических основаниях рационального выбора среди заданных альтернатив с помощью совокупности методов, «позволяющих на практике отыскивать среди имеющихся альтернатив оптимальную» [7, с. 78–94]. Наблюдаемые при решении некоторых задач с помощью созданного им в 1957 г. совместно с Алленом Ньюэллом универсального решателя задач (*General Problem Solver* — GPS) возможные случаи «комбинаторного взрыва» (см. примеры в [8, с. 61–93]) заставили ученого вплотную заняться методами оптимизации поиска, которые могли бы предотвращать подобные коллапсы как при работе компьютерных систем, так и при переборе решений в «ручном» режиме.

Перебор всех возможных альтернатив, к которому прибегают в случае неумения оптимизировать (так называемый «лобовой» поиск), сводится к рассмотрению максимально возможного числа вариантов решения задачи и сравнению каждого варианта с заданными условиями. Оптимальный поиск изначально предполагает обратное движение — от условия задачи к возможным альтернативам, когда сжатие области поиска происходит уже на этапе первоначального отсеечения заведомо проигрышных вариантов, очевидно не удовлетворяющих условию задачи. Такой метод оптимизации Саймон называет минимаксным. Для этого полезно иметь перед глазами полную (насколько это возможно) картину наиболее перспективных решений, составленную на основе неоспоримых условий или представленную в виде математических выражений, нарушение которых приведет к заведомо тупиковому результату — если речь идет о задачах, поддающихся алгоритмизации и вычислению. Поэтому оптимальный поиск для получения верного решения переборной задачи, требующей, как правило, значительных усилий, затрачива-

емых вручную, сводится к «допоисковому» ограничению числа рассматриваемых альтернатив на основе правил и закономерностей, диктуемых условиями задачи или выводимых из задачной ситуации. Затем на каждом дальнейшем шаге (итерации) после сравнения промежуточного результата с условиями задачи (в том числе и с изменяющимися условиями) непременно происходит дальнейшее сужение области поиска. Герберт Саймон назвал эти изменения «процессом сбора информации о структуре задачи, которая в конечном счете позволит найти решение» [7, с. 90].

К криптоарифметическим задачам относятся переборные задачи, где в словах нужно заменить буквы цифрами от 0 до 9. Чаще всего слова записываются в столбик так, чтобы сумма первых двух слов в цифровом выражении составила число, полученное при замене цифрами букв в третьем слове. Например, две классические криптоарифметические задачи, предложенные Гербертом Саймоном, выглядят следующим образом:

$$\begin{array}{r} \text{Задача 1} \\ \text{DONALD} \\ + \text{GERALD} \\ \hline \text{ROBERT, где } D = 5; \end{array} \quad \begin{array}{r} \text{Задача 2} \\ \text{CROSS} \\ + \text{ROADS} \\ \hline \text{DANGER.} \end{array}$$

В [7, с. 39–43] автор предлагает рассмотреть четыре стратегии поиска при решении задачи 1. Кратко опишем каждую из них.

Стратегия 1 («Лобовой» поиск). Механически перебрать все возможные варианты замены десяти букв десятью цифрами. Таких переборов будет $10!$, или 3 628 800.

Стратегия 2 (Ограниченный «лобовой» поиск). Начинаем справа подыскивать подстановки для букв **D, T, L, R, A, E, N, B, O** и **G** в естественном порядке: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0. Известно заранее, что **D** = 5, поэтому будем находить соответствие между рядом из девяти букв **T, L, R, A, E, N, B, O** и **G** и рядом из девяти цифр 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 и 0.

Поскольку в 1-м разряде $2D = T$, то **T** = 0, а единица переносится во 2-й разряд. Далее ряды букв и цифр уменьшаются еще на один член, что приводит к сокращению числа комбинаций на $8!$, так что остается рассмотреть $10! - 8! = 3\,628\,800 - 40\,320 = 3\,588\,480$ комбинаций. Малоутешительно!

Стратегия 3 (Поиск и рассуждение). Составим дерево поиска, упрощенный вариант которого изображен на рис. 1.

Ветвь **L** = 1 **R** = 3 приводит к противоречию: отрицательному **G** в 6-м разряде. По аналогии рассматриваются все остальные ветви, причем далее каждая ветвь ветвится еще на один ярус (что не показано на рис. 1), поскольку, как указывает Г. Саймон, «букве **O** не удастся приписать какое-нибудь единственное значение, удовлетворяющее всем полученным условиям. Для этого в каждом отдельном случае необходимо рассмотреть четыре дополнительных варианта. Следовательно, полное дерево поиска должно иметь 68 ветвей. Но и это существенно меньше, чем $10!$ или даже $9!$ » [7, с. 40].

$D = 5$	$T = 0$	$L = 1$	$R = 3$	$G < 0$					
		$L = 2$	$R = 5$	$G = 0$					
		$L = 3$	$R = 7$	$A = 1$	$E = 2$				
				$A = 2$	$E = 4$				
				$A = 4$	$E = 8$				
				$A = 6$	$E = 2$				
				$A = 8$	$E = 6$				
				$A = 9$	$E = 8$				
		$L = 4$	$R = 9$	$A = 1$	$E = 2$				
				$A = 2$	$E = 4$				
				$A = 3$	$E = 6$				
				$A = 6$	$E = 2$				
				$A = 7$	$E = 4$				
				$A = 8$	$E = 6$				
		$L = 6$	$R = 3$	$G < 0$					
		$L = 7$	$R = 5$						
		$L = 8$	$R = 7$	$A = 1$	$E = 3$				
				$A = 2$	$E = 5$				
				$A = 3$	$E = 7$				
				$A = 4$	$E = 9$	$N = 1$	$B = 8$		
						$N = 2$	$B = 9$		
						$N = 3$	$G = 0$		
						$N = 6$	$O = 2$	$G = 1$	

Рис. 1 Упрощенное дерево поиска для задачи 1 [7, с. 40]

Стратегия 4 (Развитие стратегии поиска и рассуждения) предполагает обнаружение столбцов, относительно которых уже имеется достаточная определенность, позволяющая проводить новые подстановки.

При $D = 5$ из 1-го разряда следует, что $T = 0$. Тогда перенос единицы из 1-го во 2-й разряд преобразует сумму $L + L = R$ в выражение $R = 2L + 1$, где R — нечетное число. Кроме того, $R > 5$, поскольку в 6-м разряде имеем соотношение $R = 5 + G$. Тогда $R = 7$ или 9. В 5-м разряде соотношение $O + E = O$ справедливо, если $E = 0$ или 9. Но поскольку установлено, что $T = 0$, тогда $E = 9$, а $R = 7$. Таким образом, с помощью простейших логических рассуждений получаем, что при $D = 5$ и $T = 0$, $E = 9$ и $R = 7$.

Поскольку единица перенесена из 2-го разряда в 3-й, то $E = 2A + 1$, что возможно при $A = 4$. Но если из 2-го разряда в 3-й и из 1-го во 2-й перенесена единица, то во 2-м разряде имеем соотношение не $2L + 1 = R$, а $2L + 1 = 10 + R$. Тогда $L = 8$.

Остается распределить цифры 1, 2, 3 и 6 между буквами N , B , O и G . В 6-м разряде имеем $D + G + 1 = R$, поскольку при любом значении O в 6-й разряд переносится единица из 5-го разряда. Тогда $G = 1$, а для N , B и O имеем ряд цифр 2, 3 и 6, т. е. осталось перебрать $3! = 6$ различных возможностей. Методом «проб и ошибок» получаем $N = 6$, $B = 3$ и $O = 2$.

3 Альтернативные способы оптимизации поиска при решении криптоарифметических задач

Приведем подходы к решению задач Саймона, отличные от способов самого автора. При этом используем логические рассуждения, основанные на блок-схемах алгоритма, причем оптимизацию блок-схем за счет сужения области поиска будем проводить с использованием следующих опор:

- (1) проверки четности-нечетности замещающих чисел (цифр);
- (2) наличия свободного ряда цифр;
- (3) наличия или отсутствия переноса единицы из предыдущего разряда в последующий, что непосредственно влияет на соотношение между искомыми числовыми значениями.

Если перенос единицы осуществляется **в** разряд, то в формуле $X + Y = Z$ к левой части добавляется единица: $X + 1 + Y = Z$. Если перенос единицы осуществляется **из** разряда, то в формуле $X + Y = Z$ к правой части добавляется число десять: $X + Y = 10 + Z$. Здесь X , Y и Z — цифры одного разряда при записи в столбик.

Решение задачи 1. Имеем 10 букв: **D, O, N, A, L, G, E, R, B** и **T** и 10 цифр: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9. При этом формальный перечень возможных комбинаций имеет 16 ветвей (цепочек), на основании анализа которых можно сократить число переборов, оптимизировав таким образом решение задачи.

Из 2-го разряда получаем, что $L = 9 + R$ или $L = (R - 1)/2$; следовательно, **R** — число нечетное. В 5-м разряде имеет смысл единственное соотношение: $O + 1 + E = 10 + O$, откуда следует, что $E = 9$. Тогда из общей схемы комбинаций можно удалить **12 цепочек** (по три для каждой из четырех ветвей в 3-м разряде), сократив число комбинаций до **четырёх** и пронумеровав их римскими цифрами I–IV (рис. 2). На рис. 2 в скобках указан номер разряда от (1) до (6); кружок со стрелкой — это перенос единицы из предыдущего разряда в последующий, а перечеркнутый кружок символизирует отсутствие переноса.

Дальнейшая оптимизация поиска осуществляется в 3-м разряде для комбинаций (см. рис. 2):

$$\text{I } A = (9 + E)/2 = 9;$$

$$\text{II } A = (E - 1)/2 = 4;$$

$$\text{III } A = (10 + E)/2 = 9,5;$$

$$\text{IV } A = E/2 = 4,5.$$

Поскольку **A** должно быть целым числом и к тому же отличным от 9, то комбинации I, III и IV являются тупиковыми, т. е. остается рассмотреть всего **одну комбинацию** — под номером II, для которой имеем: $D = 5$, $T = 0$ и $E = 9$. Дальнейшие рассуждения сведены в табл. 1, демонстрирующую поисковые

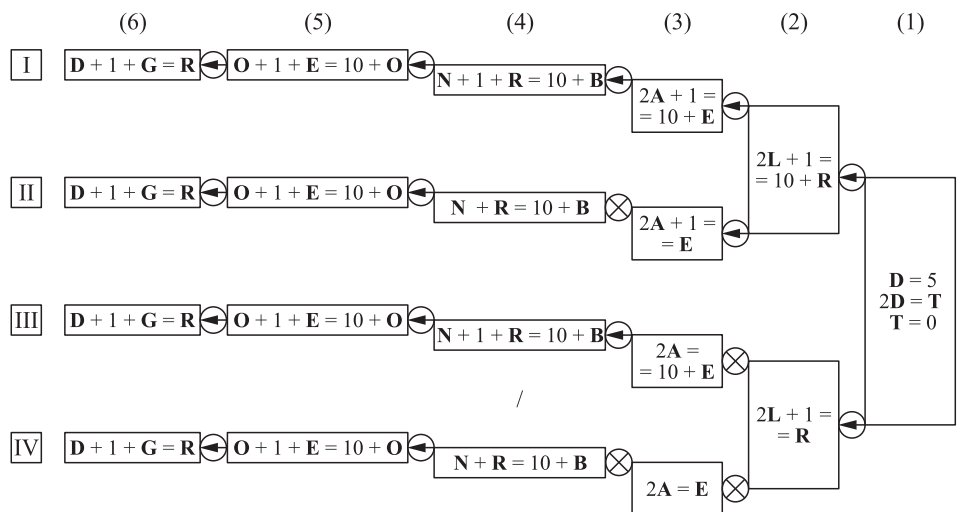


Рис. 2 Промежуточный этап оптимизации поиска при решении задачи 1 (в верхней строке в скобках указан номер разряда, а в столбике слева — номер комбинации)

Таблица 1 Заключительные итерации в решении задачи 1

№ комбинации	(3)	(6)	(5)	(4)	(3)	(2)	(1)
	A	Свободный ряд	$G + 6 = R$, R и G — нечетные числа	Свободный ряд	$L = 9 + R$	Свободный ряд	$N = 3 + B$ O
II	4	1, 2, 3, 6, 7, 8	$G = 1; R = 7$	2, 3, 6, 8	$L = 8$	2, 3, 6	$N = 6$ $B = 3$

действия при движении слева направо (в верхней строке в скобках указан номер разряда из рис. 2).

Ответ: $D = 5; T = 0; E = 9; A = 4; G = 1; R = 7; L = 8; N = 6; B = 3; O = 2$.

Проверка:
$$\begin{array}{r} 526485 \\ + 197485 \\ \hline 723970 \end{array}$$

Таким образом, верный ответ получен за четыре итерации при рассмотрении одной комбинации — под номером II. Оставшейся цифрой 2 можно заместить букву O, что никак не повлияет на конечный результат.

Решение задачи 2. Имеем 9 букв: C, R, O, S, A, D, N, G и E и 10 цифр: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9, причем очевидно, что $D = 1$, поскольку происходит перенос разряда из 5-го в 6-й. При этом формальный перечень возможных комбинаций включает 16 ветвей. Показательно, что сам Герберт

Саймон, рассматривая оптимизацию поиска в задаче 1, отмечал, что в задаче 2, решение которой сам он не приводит, не удастся «столь же радикально сократить поиск» [7, с. 41]. Правота его слов будет подтверждена в ходе дальнейших рассуждений.

В 1-м разряде имеем два начальных соотношения: (1) $2S = 10 + R$ и (2) $2S = R$, где число R — четное для обоих случаев. Если построить развернутую блок-схему полного набора комбинаций, исходящих из двух начальных соотношений, то она покажет, что каждое начальное соотношение разворачивается в восемь цепочек. В целом это соответствует 16 поисковым комбинациям (пока без учета возможных сочетаний цифр, которых в пределах одной цепочки может быть несколько).

Для начального соотношения $2S = 10 + R$ число R может принимать значения 0, 2, 4, 6 и 8. Тогда $S = 5, 6, 7, 8$ и 9. Для 2-го разряда этого соотношения существуют два варианта: $S + D + 1 = 10 + E$ и $S + D + 1 = E$, что при $D = 1$ приводит к простым формулам: $S = 8 + E$ и $S = E - 2$ соответственно.

В первом варианте 2-го разряда соотношение $S = 8 + E$ может быть выполнено только при $E = 0$. Тогда $S = 8$, а $R = 6$ (при этом образуется свободный ряд цифр 2, 3, 4, 5, 7 и 9).

Во втором варианте 2-го разряда для $S = E - 2$ возможны три сочетания цифр для R, S и E : $R = 0, S = 5, E = 7$ (свободный ряд цифр 2, 3, 4, 6, 8 и 9); $R = 2, S = 6$ и $E = 8$ (свободный ряд цифр 0, 3, 4, 5, 7 и 9); $R = 4, S = 7$ и $E = 9$ (свободный ряд цифр 0, 2, 3, 5, 6 и 8).

Следовательно, для первого начального соотношения $2S = 10 + R$ на этапе 2-го разряда открывается возможность продолжить поиск по всем восьми цепочкам: четырем для соотношения $S = 8 + E$ при единственном сочетании цифр: $D = 1, E = 0, S = 8$ и $R = 6$ и свободном ряде цифр (2, 3, 4, 5, 7 и 9) и четырем для соотношения $S = E - 2$ при трех вариантах сочетаний цифр:

- (1) $D = 1, E = 7, S = 5$ и $R = 0$ и свободном ряде цифр (2, 3, 4, 6, 8 и 9);
- (2) $D = 1, E = 8, S = 6$ и $R = 2$ и свободном ряде цифр (0, 3, 4, 5, 7 и 9);
- (3) $D = 1, E = 9, S = 7$ и $R = 4$ и свободном ряде цифр (0, 2, 3, 5, 6 и 8).

Таким образом, для первого начального соотношения $2S = 10 + R$ в пределах восьми цепочек имеем $4 \times 1 + 4 \times 3 = 16$ разных вариантов, среди которых будем искать решение.

Для второго начального соотношения $2S = R$ число R может принимать значения 4, 6 или 8. Тогда $S = 2, 3$ или 4. Для 2-го разряда этого соотношения могут рассматриваться два варианта: $S + D = 10 + E$ и $S + D = E$, что при $D = 1$ приводит к простым формулам: $S = 9 + E$ и $S = E - 1$ соответственно.

В первом варианте 2-го разряда соотношение $S = 9 + E$ не имеет смысла при всех сочетаниях значений R и S , поэтому все четыре цепочки комбинации $(2S = R) \rightarrow (S = 9 + E)$ можно не рассматривать, поскольку они тупиковые. Так исключаем из рассмотрения сразу четыре цепочки.

Во втором варианте 2-го разряда для $S = E - 1$ возможны три сочетания цифр для R, S и E : $R = 4, S = 2$ и $E = 3$ (свободный ряд 0, 5, 6, 7, 8 и 9); $R = 6, S = 3$ и $E = 4$ (свободный ряд 0, 2, 5, 7, 8 и 9); $R = 8, S = 4$ и $E = 5$ (свободный ряд 0, 2, 3, 6, 7 и 9).

Следовательно, для второго начального соотношения $2S = R$ можно продолжать поиск по четырем комбинациям из восьми, соответствующим соотношению $S = E - 1$ на этапе 2-го разряда, в каждой цепочке которого имеем по три сочетания цифр — итого $4 \times 3 = 12$ разных вариантов, среди которых, возможно, скрывается решение задачи.

Итак, после предварительных рассуждений вся задача разбивается на три независимые подзадачи по четыре комбинации в каждой, поскольку общее число комбинаций, изначально равное 16, сократилось до 12 за счет исключения четырех комбинаций с начальным соотношением $(2S = R) \rightarrow (S = 9 + E)$. Остаются 4 комбинации для $(2S = 10 + R) \rightarrow (S = 8 + E)$, а еще 8 комбинаций — четыре для $(2S = 10 + R) \rightarrow (S = E - 2)$ и четыре для $(2S = R) \rightarrow (S = E - 1)$ — «обогащаются» тремя сочетаниями цифр каждая. Следовательно, всего необходимо проверить $4 \times 1 + 4 \times 3 + 4 \times 3 = 28$ вариантов возможных соотношений между буквами и цифрами. Это доказывает правоту Герберта Саймона о том, что решение задачи 2 требует гораздо больших усилий за счет невозможности радикального сокращения области поиска (напомним, что в задаче 1 из 16 комбинаций были исключены 12).

Рассмотрим кратко ход решения задачи 2. Как было показано выше, для начального соотношения $(2S = 10 + R) \rightarrow (S = 8 + E)$ имеется единственный возможный вариант: $R = 6, S = 8$ и $E = 0$ и свободный ряд цифр: 2, 3, 4, 5, 7 и 9. Далее воспользуемся следующими формулами для вычисления остальных буквенно-числовых соответствий в четырех соответствующих цепочках:

- (1) $O = 9 + N - R = N + 3; C - A = 9 - R = 3; G = O + A - 9;$
- (2) $O = N - R - 1 = N - 7; C - A = 10 - R = 4; G = O + A - 9;$
- (3) $O = 10 + N - R = N + 4; C - A = 9 - R = 3; G = O + A + 1;$
- (4) $O = N - R = N - 6; C - A = 10 - R = 4.$

Расчеты показывают, что ни одна из рассмотренных цепочек не приводит к приемлемому результату.

Напомним, что во всех четырех цепочках для комбинации $(2S = 10 + R) \rightarrow (S = E - 2)$ имеются по три набора значений: $R = 0, 2, 4; S = 5, 6, 7; E = 7, 8, 9$. Во всех четырех цепочках для комбинации $(2S = R) \rightarrow (S = E - 1)$ также имеется по три набора значений: $R = 4, 6, 8; S = 2, 3, 4; E = 3, 4, 5$. Проведя соответствующие вычисления, получаем, что к приемлемому результату приводит только одна из цепочек для $(2S = R) \rightarrow (S = E - 1)$, соответствующая значениям: $R = 6, S = 3$ и $E = 4$ (табл. 2).

Ответ: $C = 9, R = 6, O = 2, S = 3, A = 5, D = 1, N = 8, G = 7, E = 4$. Цифра 0 осталась невостребованной.

Таблица 2 Фрагмент решения задачи 2 для комбинации $(2S = R) \rightarrow (S = E - 1)$

Шаги 1–2	R	4	6	8
	S	2	3	4
	E	3	4	5
	Свободный ряд	0 5 6 7 8 9	0 2 5 7 8 9	0 2 3 6 7 9
Шаг 3	O	N – R		
	O	N – 4	N – 6	N – 8
	N	9	8	Нет решения
	O	5	2	Нет решения
	Свободный ряд	0 6 7 8	0 5 7 9	—
	C – A	10 – R		
	C – A	6	4	—
	A	0	5	—
Шаг 4	C	6	9	—
	Свободный ряд	7 8	0 7	—
Шаг 5	G	O + A		
	G	Нет решения	РЕШЕНИЕ: 7	—

Проверка:
$$\begin{array}{r} + 96\,233 \\ + 62\,513 \\ \hline 158\,746 \end{array}$$

Итак, для получения ответа пришлось перебрать 12 комбинаций возможных решений, рассмотрев в целом 28 переборов (итераций): 4 перебора для комбинации $(2S = 10 + R) \rightarrow (S = 8 + E)$ и по 12 переборов для комбинаций $(2S = 10 + R) \rightarrow (S = E - 2)$ и $(2S = R) \rightarrow (S = E - 1)$. Если сравнивать число переборов, необходимых для решения задач 1 и 2, то получаем, что в задаче 1 проделаны 4 итерации для одной комбинации, а в задаче 2 — 28 итераций для 12 комбинаций.

Отметим, что Герберт Саймон даже в наиболее продвинутой стратегии оптимизации поиска — под номером 4 — говорит о методе «проб и ошибок», к которому он прибегает на заключительном этапе оптимизации, тогда как в предложенной методике оптимизации поиск на любом шаге итерации не ориентируется на метод «проб и ошибок», а носит обоснованный и целенаправленный характер, опирающийся на четкие арифметические правила и закономерности.

4 Заключение

Оптимизация поиска при решении криптоарифметических задач служит эффективным инструментом развития логического мышления школьников, способствующего формированию алгоритмических навыков как необходимых компонентов инженерной культуры. При соответствующем методическом сопровождении сложные переборные задачи, которые в настоящее время встречаются преимущественно на предметных олимпиадах, могут быть включены

в программу углубленного курса информатики на уровне основного общего образования. Впоследствии это может послужить дополнительным стимулом для освоения учащимися методов динамического программирования — эффективной технологии решения многих классов переборных задач.

Литература

1. Корчажкина О. М. Кriptoарифметические и другие переборные задачи на уроках информатики // Актуальные проблемы методики обучения информатике и математике в современной школе: мат-лы Междунар. научн.-практич. интернет-конференции. — М.: МПГУ, 2022. <http://news.scienceland.ru/2022/04/17/криптоарифметические-и-другие-переб/>.
2. Булычёв В. А. Методы программирования: переборные алгоритмы. <https://algotist.manual.ru/maths/combinat>.
3. Окулов С. М., Пестов О. А. Динамическое программирование. — М.: БИНОМ, 2015. 299 с.
4. Довгальок П. М. Динамическое программирование и все-все-все: Как решать олимпиадные и «жизненные» программистские задачи. — М.: ЛЕНАНД, 2021. 200 с.
5. Корчажкина О. М. Технология динамического программирования как инструмент развития инженерного мышления старшеклассников // Преподавание информационных технологий в Российской Федерации: Сб. научных тр. 19-й Открытой Всеросс. конф. — М.: 1С-Паблишинг, 2021. С. 86–88.
6. Прокопцев А. А. Методические подходы к изучению основ динамического программирования на уровне среднего общего образования // Актуальные проблемы методики обучения информатике и математике в современной школе: мат-лы Междунар. научн.-практич. интернет-конференции. — М.: МПГУ, 2022. <http://news.scienceland.ru/2022/04/17/методические-подходы-к-изучению-осно/>.
7. Саймон Г. Науки об искусственном / Пер. с англ. — 2-е изд. — М.: Едиториал УРСС, 2004. 144 с. (Simon H. A. The sciences of the artificial. — 3rd ed. — Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1996. 248 p.)
8. Пенроуз Р. Новый ум короля: О компьютерах, мышлении и законах физики / Пер. с англ. — 3-е изд. — М.: ЛКИ, 2008. 400 с. (Penrose R. The Emperor's new mind: Concerning computers, minds and the laws of physics. — Oxford, U.K.: Oxford University Press, 2002. 640 p.)

Поступила в редакцию 15.09.22

SEARCH OPTIMIZATION WHILE SOLVING ENUMERATION PROBLEMS IN AN ADVANCED COMPUTER SCIENCE COURSE AT THE LEVEL OF BASIC GENERAL EDUCATION

O. M. Korchazhkina

Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

Abstract: The article discusses a few ways to activate high school students’ logical thinking to form their algorithmic skills in computer studies lessons. The research analyses the methods for optimizing in traditional cryptoarithmetic problems that make up a subclass of enumeration tasks which were proposed by Herbert Simon to illustrate the ways of mindset when it is necessary to carry out numerous iterations of possible combinations. A search optimization visual method is proposed for solving two Simon problems based on the patterns of digit transfer during summation and presented in the form of simple algebraic relations. The method can be easily algorithmized and implemented with dynamic programming technology to optimize the solution of iterative tasks.

Keywords: optimization of a search; enumeration/iterative problem/task; crypto-arithmetic problem; dynamic programming

DOI: 10.14357/08696527220414

References

1. Korchazhkina, O. M. 2022. Kriptoarifmeticheskie i drugie perebornye zadachi na urokakh informatiki [Cryptoarithmetic and other iterative problems in computer science lessons]. *Scientific and Practical Conference (International) “Actual Problems of Teaching Methods of Computer Science and Mathematics in a Modern School” Proceedings*. Moscow: MPGU. Available at: <http://news.scienceland.ru/2022/04/17/криптоарифметические-и-другие-переб/> (accessed October 10, 2022).
2. Bulychev, V. A. Metody programmirovaniya: perebornye algoritmy [Programming methods: Enumeration algorithms]. Available at: <https://algolist.manual.ru/maths/combinat/> (accessed October 10, 2022).
3. Okulov, S. M., and O. A. Pestov. 2015. *Dinamicheskoe programmirovanie* [Dynamic programming]. Moscow: BINOM. 299 p.
4. Dovgalyuk, P. M. 2021. *Dinamicheskoe programmirovanie i vse-vse-vse: Kak reshat’ olimpiadnye i “zhiznennye” programmistskie zadachi* [Dynamic programming and all-all: How to solve Olympiad and “life” programming tasks]. Moscow: LENAND. 200 p.
5. Korchazhkina, O. M. 2021. Tekhnologiya dinamicheskogo programmirovaniya kak instrument razvitiya inzhernogo myshleniya starsheklassnikov [Dynamic programming technology as a tool to develop high school students’ engineering mindsets]. *Prepodavanie informatsionnykh tekhnologiy v Rossiyskoy Federatsii: Sb. nauchnykh tr. 19-y*

- Otkrytoy Vseross. konf.* [19th All-Russian Open Conference “Teaching Information Technology in the Russian Federation” Proceedings]. Moscow: 1C-Publishing. 86–88.
6. Prokoptsev, A. A. 2022. Metodicheskie podkhody k izucheniyu osnov dinamicheskogo programirovaniya na urovne srednego obshchego obrazovaniya [Methodological approaches to the study of the basics of dynamic programming at the level of secondary general education]. *Scientific and Practical Conference (International) “Actual Problems of Teaching Methods of Computer Science and Mathematics in a Modern School” Proceedings*. Moscow: MPGU. Available at: <http://news.scienceland.ru/2022/04/17/методические-подходы-к-изучению-осно/> (accessed October 10, 2022).
 7. Simon, H. A. 2019. *The sciences of the artificial*. 3rd ed. Cambridge, MA: MIT Press. 231 p.
 8. Penrose, R. 2016. *The Emperor’s new mind: Concerning computers, minds and the laws of physics*. Oxford, U.K.: Oxford University Press. 640 p.

Received September 15, 2022

Contributor

Korchazhkina Olga M. (b. 1953) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior scientist, Institute of Cybernetics and Educational Computing of Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; olgakomax@gmail.com

Абрамов Алексей Геннадьевич (р. 1976) — кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского отделения Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук — филиала Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук»

Адамович Игорь Михайлович (р. 1934) — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Бирюкова Татьяна Константиновна (р. 1968) — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Волков Олег Игоревич (р. 1964) — ведущий программист Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Гершкович Максим Михайлович (р. 1968) — старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Гончар Андрей Андреевич (р. 1969) — заместитель директора Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук — филиала Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук»

Гончаров Александр Анатольевич (р. 1994) — научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Грушо Александр Александрович (р. 1946) — доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Грушо Николай Александрович (р. 1982) — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Дьяченко Денис Юрьевич (р. 1987) — инженер-исследователь Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Дьяченко Юрий Георгиевич (р. 1958) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Евсеев Антон Владимирович (р. 1973) — директор Санкт-Петербургского отделения Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук — филиала Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук»

Жуков Денис Владимирович (р. 1979) — главный специалист Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Забейхайло Михаил Иванович (р. 1956) — доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник Вычислительного центра им. А. А. Дородницына Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Зацман Игорь Моисеевич (р. 1952) — доктор технических наук, заведующий отделом Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Зейфман Александр Израилевич (р. 1954) — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики Вологодского государственного университета; старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук; главный научный сотрудник Вологодского научного центра Российской академии наук; старший научный сотрудник Московского центра фундаментальной и прикладной математики Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова

Идрисов Аскар Тулеубаевич (р. 1958) — советник руководителя Ассоциации пользователей научно-образовательной компьютерной сети Казахстана «KazRENA»

Ильин Александр Владимирович (р. 1975) — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Государственного научно-исследовательского института авиационных систем

Ильин Владимир Дмитриевич (р. 1937) — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Вычислительного центра им. А. А. Дородницына Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Ковалёв Иван Александрович (р. 1996) — аспирант Вологодского государственного университета; научный сотрудник Московского центра фундаментальной и прикладной математики Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова

Корчажкина Ольга Максимовна (р. 1953) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института кибернетики и образовательной информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Кривенко Михаил Петрович (р. 1946) — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Макарова Анна Евгеньевна (р. 1997) — разработчик математического обеспечения Акционерного общества «Научно-промышленная компания «Высокие технологии и стратегические системы» (НПК «ВТиСС»)

Морозов Николай Викторович (р. 1956) — старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Назруллоев Парвиз Лутфуллоевич (р. 1993) — аспирант кафедры математического и компьютерного моделирования Таджикского национального университета

Никитин Юрий Викторович (р. 1977) — научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Новик Дмитрий Витальевич (р. 1967) — заместитель директора Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук — филиала Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук»

Одинаев Раим Назарович (р. 1964) — доктор физико-математических наук, доцент, декан механико-математического факультета Таджикского национального университета

Раимзода Фаррухшох (р. 1991) — аспирант кафедры математического и компьютерного моделирования Таджикского национального университета

Сатин Яков Александрович (р. 1978) — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики Вологодского государственного университета

Смирнов Дмитрий Владимирович (р. 1984) — бизнес-партнер по ИТ департамента безопасности ПАО «Сбербанк России»

Соколов Игорь Анатольевич (р. 1954) — доктор технических наук, академик РАН, директор Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Степченков Дмитрий Юрьевич (р. 1973) — старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Степченков Юрий Афанасьевич (р. 1951) — кандидат технических наук, заведующий отделом, ведущий научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Тимонина Елена Евгеньевна (р. 1952) — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Хорошилов Александр Алексеевич (р. 1952) — доктор технических наук, профессор Московского авиационного института (национального исследовательского университета); ведущий научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук; старший научный сотрудник 27-го Центрального научно-исследовательского института Министерства обороны Российской Федерации

Шабанов Борис Михайлович (р. 1954) — доктор технических наук, доцент, член-корреспондент РАН, директор Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук — филиала Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук»

Шоргин Сергей Яковлевич (р. 1952) — доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЗА 2022 г.

	№	Стр.
Абрамов А. Г., Гончар А. А., Евсеев А. В., Идрисов А. Т., Новик Д. В., Шабанов Б. М. Национальные научно-образовательные сети стран Евразийского экономического союза: текущий статус и перспективы интеграции	4	90–98
Абрамов А. Г., Евсеев А. В., Гончар А. А., Шабанов Б. М. Вопросы увеличения пропускной способности и территориальной доступности национальной исследовательской компьютерной сети России	2	4–12
Адамович И. М., Волков О. И. Алгоритмы кластеризации для технологии поддержки конкретно-исторических исследований	4	112–123
Адамович И. М., Волков О. И. Подход к поиску аномалий в конкретно-исторических данных	3	136–146
Адамович И. М., Волков О. И. Подход к связыванию записей в технологии поддержки конкретно-исторических исследований, основанный на нечетких множествах	2	137–145
Адамович И. М., Волков О. И. Структурный подход к связыванию записей в технологии поддержки конкретно-исторических исследований	1	94–103
Архипов П. О., Трофименков А. К., Цуканов М. В., Носова Н. Ю. Исследование методов детектирования ключевых точек при создании панорамных изображений	2	92–104
Бегишев В. О. см. Степанов Н. В.		
Белозеров А. О., Мазур А. И. Машинное обучение для задач экстраполяции с малым объемом данных	2	13–22
Бирюкова Т. К. см. Гершкович М. М.		
Борисов А. В., Босов А. В., Жуков Д. В. Стратегия исследований и разработок в области искусственного интеллекта IV: государственная политика КНР	1	18–33
Борисов А. В., Босов А. В., Жуков Д. В., Иванов А. В. Информационные аспекты обеспечения безопасности на транспорте: аналитические задачи	1	4–17
Босов А. В. см. Борисов А. В.		
Босов А. В. см. Борисов А. В.		
Бутенко Ю. И., Строганов Ю. В., Квасников А. В., Славнов Н. В. Создание фонетико-акустической базы русских триграмм	1	55–62

	№	Стр.
Вакуленко В. В., Дурново А. А., Зацман И. М. Функции экспорта в лексикографических базах данных	1	149–159
Волков О. И. см. Адамович И. М.		
Волков О. И. см. Адамович И. М.		
Волков О. И. см. Адамович И. М.		
Волков О. И. см. Адамович И. М.		
Гаврилов В. Е., Зацаринный А. А. Проблемы и угрозы внедрения некоторых новых цифровых технологий	3	15–25
Гершкович М. М., Бирюкова Т. К. Метод управления обменом данными в автоматизированных информационных системах с применением смыслового анализа передаваемых элементов информации	4	69–76
Гончар А. А. см. Абрамов А. Г.		
Гончар А. А. см. Абрамов А. Г.		
Гончаренко В. В. см. Самохина А. М.		
Гончаров А. А. Методы поиска имплицитных логико-семантических отношений в монопольных текстах	3	92–102
Гончаров А. А. Методы поиска имплицитных логико-семантических отношений в параллельных текстах	4	32–44
Григорян Р. К. см. Самохина А. М.		
Гринченко С. Н. О сравнительном генезисе базисных информационных технологий и общественно-экономических формаций Человечества	3	147–155
Грушо А. А., Грушо Н. А., Забейайло М. И., Смирнов Д. В., Тимонина Е. Е., Шоргин С. Я. Некоторые подходы к анализу сетевых DLP	2	72–80
Грушо А. А., Грушо Н. А., Забейайло М. И., Смирнов Д. В., Тимонина Е. Е., Шоргин С. Я. Обнаружение дрейфа распределения	4	14–20
Грушо А. А., Грушо Н. А., Забейайло М. И., Смирнов Д. В., Тимонина Е. Е., Шоргин С. Я. Поиск аномалий в больших данных	1	160–167
Грушо Н. А. см. Грушо А. А.		
Грушо Н. А. см. Грушо А. А.		
Грушо Н. А. см. Грушо А. А.		
Дулин С. К. см. Розенберг И. Н.		
Дулина Н. Г. см. Розенберг И. Н.		
Дурново А. А., Инькова О. Ю., Попкова Н. А. Архитектура базы данных иерархии логико-семантических отношений	1	114–125
Дурново А. А., Инькова О. Ю., Попкова Н. А. Интерфейс пользователя Надкорпусной базы данных иерархий логико-семантических отношений	3	103–115

	№	Стр.
Дурново А. А. см. Вакуленко В. В.		
Дьяченко Д. Ю. см. Соколов И. А.		
Дьяченко Д. Ю. см. Степченков Ю. А.		
Дьяченко Ю. Г. см. Соколов И. А.		
Дьяченко Ю. Г. см. Степченков Ю. А.		
Евсеев А. В. см. Абрамов А. Г.		
Евсеев А. В. см. Абрамов А. Г.		
Егоров В. Б. К вопросу о совмещении программного определения сетей с виртуализацией сетевых функций	2	36–46
Егоров В. Б. К вопросу о соотношении программно определяемых и традиционных IP-сетей	1	73–82
Жуков Д. В. Некоторые проекты нетипового применения экспертных систем	4	99–111
Жуков Д. В. см. Борисов А. В.		
Жуков Д. В. см. Борисов А. В.		
Забежайло М. И. см. Грушо А. А.		
Забежайло М. И. см. Грушо А. А.		
Забежайло М. И. см. Грушо А. А.		
Зацаринный А. А., Ионенков Ю. С. Некоторые вопросы оценки внутреннего качества информационных систем	1	63–72
Зацаринный А. А., Ионенков Ю. С. Некоторые методические вопросы оценки уровня технологической готовности проектов информационных систем	3	4–14
Зацаринный А. А., Ионенков Ю. С. О применении экспертных методов при оценке эффективности и качества информационных систем	2	47–57
Зацаринный А. А. см. Гаврилов В. Е.		
Зацман И. М. Модель процесса извлечения новых терминов и тональных слов из текстов	2	115–127
Зацман И. М. Стратегия Европейского компьютерного образования: теоретические основания построения	3	116–127
Зацман И. М. Теоретические основания компьютерного образования: среды предметной области информатики как основание классификации ее объектов	4	77–89
Зацман И. М. см. Вакуленко В. В.		
Зейфман А. И. см. Ковалёв И. А.		
Зейфман А. И. см. Усов И. А.		
Иванов А. В. см. Борисов А. В.		
Идрисов А. Т. см. Абрамов А. Г.		
Ильин А. В., Ильин В. Д. Метод целевого перемещения решения в технологиях ситуационного управления	4	124–133
Ильин В. Д. Методология s-моделирования: развитие и применение	1	104–113

	№	Стр.
Ильин В. Д. Мультивалютная цифровая платежная система: основы технологического обеспечения	3	128–135
Ильин В. Д. S-моделирование и цифровые технологии экономической деятельности	2	146–154
Ильин В. Д. см. Ильин А. В.		
Инькова О. Ю. см. Дурново А. А.		
Инькова О. Ю. см. Дурново А. А.		
Ионенков Ю. С. см. Зацаринный А. А.		
Ионенков Ю. С. см. Зацаринный А. А.		
Ионенков Ю. С. см. Зацаринный А. А.		
Квасников А. В. см. Бутенко Ю. И.		
Кириков И. А. см. Листопад С. В.		
Кириков И. А. см. Румовская С. Б.		
Ковалёв И. А., Сатин Я. А., Зейфман А. И. Оценки скорости сходимости и устойчивости для одного класса нестационарных марковских моделей систем с нетерпеливыми клиентами	4	21–31
Ковалёв И. А. см. Усов И. А.		
Корчажкина О. М. Оптимизация поиска при решении переборных задач в углубленном курсе информатики на уровне основного общего образования	4	145–156
Кривенко М. П. Анализ монотонного тренда в многопараметрическом случае	1	83–93
Кривенко М. П. Аналитика зашумленных текстов	4	45–58
Леонтьев Д. В., Харитонов Д. И. Построение сокращенного дерева достижимости для моделей программ в терминах сетей Петри	2	23–35
Листопад С. В., Кириков И. А. Архитектуры интеллектуальных агентов сплоченных гибридных интеллектуальных многоагентных систем	2	81–91
Мазур А. И. см. Белозеров А. О.		
Макарова А. Е. см. Никитин Ю. В.		
Малашенко Ю. Е., Назарова И. А. Анализ распределения нагрузок и ресурсов в многопользовательской сети при равных межузловых потоках	3	71–80
Морозов Н. В. см. Соколов И. А.		
Морозов Н. В. см. Степченков Ю. А.		
Назарова И. А. см. Малашенко Ю. Е.		
Назруллоев П. Л. см. Одинаев Р. Н.		
Нейчев Р. Г. см. Самохина А. М.		
Никитин Ю. В., Хорошилов А. А., Макарова А. Е. Токенизация текстов на основе метода функциональных шаблонов	4	59–68

	№	Стр.
Никишин Д. А. Обзор подходов к пространственно-временному моделированию и выявление основных тенденций развития T-GIS	3	50–62
Никишин Д. А. Подход к разработке концептуальной схемы базы геоданных с поддержкой многовариантного представления геообъектов	2	128–136
Новик Д. В. см. Абрамов А. Г.		
Носова Н. Ю. см. Архипов П. О.		
Одинаев Р. Н., Назруллоев П. Л., Раимзода Ф. Оптимизационный процесс интегрированного метода защиты растений для точечных моделей	4	134–144
Попкова Н. А. см. Дурново А. А.		
Попкова Н. А. см. Дурново А. А.		
Раимзода Ф. см. Одинаев Р. Н.		
Рождественский Ю. В. см. Степченков Ю. А.		
Розенберг И. Н., Дулин С. К., Дулина Н. Г. Геоинформационная система — инструмент цифровой трансформации геоданных	1	46–54
Румовская С. Б., Кириков И. А. Моделирование выработки полного раннего дифференциального диагноза и прогноза состояния сложных объектов в медицине. Проблемы и перспективы	3	26–35
Самохина А. М., Нейчев Р. Г., Гончаренко В. В., Григорян Р. К., Стрижов В. В. Модели классификации выборки вызванных потенциалов P300	3	36–49
Сатин Я. А. см. Ковалёв И. А.		
Синицын И. Н. Аналитическое моделирование и оценивание нестационарных нормальных процессов в стохастических системах, не разрешенных относительно производных	2	58–71
Славнов Н. В. см. Бутенко Ю. И.		
Смелянский Р. Л. см. Степанов Е. П.		
Смирнов Д. В. см. Грушо А. А.		
Смирнов Д. В. см. Грушо А. А.		
Смирнов Д. В. см. Грушо А. А.		
Соколов И. А., Степченков Ю. А., Дьяченко Ю. Г., Морозов Н. В., Степченков Д. Ю., Дьяченко Д. Ю. Анализ сбоеустойчивости самосинхронного конвейера	4	4–13
Степанов Е. П., Смелянский Р. Л. Сравнительный анализ многопоточных транспортных протоколов	2	155–170
Степанов Н. В., Тюрликов А. М., Бегишев В. О. Оптимальные ассоциации устройств в сетях межмашинного взаимодействия стандартов NB-IoT и LTE-M	3	63–70

	№	Стр.
Степченков Д. Ю. см. Соколов И. А.		
Степченков Д. Ю. см. Степченков Ю. А.		
Степченков Ю. А., Дьяченко Ю. Г., Рождественский Ю. В., Морозов Н. В., Степченков Д. Ю., Дьяченко Д. Ю. Варианты самосинхронных регистров сдвига	3	81–91
Степченков Ю. А. см. Соколов И. А.		
Стрижов В. В. см. Самохина А. М.		
Строганов Ю. В. см. Бутенко Ю. И.		
Сучков А. П. Оценка эффективности капитальных и операционных затрат при планировании жизненного цикла информационных систем специального назначения	1	126–137
Тимонина Е. Е. см. Грушо А. А.		
Тимонина Е. Е. см. Грушо А. А.		
Тимонина Е. Е. см. Грушо А. А.		
Трофименков А. К. см. Архипов П. О.		
Тюрликов А. М. см. Степанов Н. В.		
Усов И. А., Ковалёв И. А., Зейфман А. И. Оценка погрешности аппроксимации неоднородных марковских цепей с непрерывным временем и катастрофами	1	34–45
Харитонов Д. И. см. Леонтьев Д. В.		
Хорошилов А. А. см. Никитин Ю. В.		
Цуканов М. В. см. Архипов П. О.		
Чернышов А. В. Модель определения необходимого числа оптических дисков, организованных в гибридные структуры, для создания и поддержания долговременных электронных архивов	2	105–114
Читалов Д. И. Доработка графического интерфейса платформы OpenFOAM в части расширения перечня утилит для работы с расчетными сетками	1	138–148
Шабанов Б. М. см. Абрамов А. Г.		
Шабанов Б. М. см. Абрамов А. Г.		
Шоргин С. Я. см. Грушо А. А.		
Шоргин С. Я. см. Грушо А. А.		
Шоргин С. Я. см. Грушо А. А.		

2022 AUTHOR INDEX

	No.	Page
Abramov A. G., Evseev A. V., Gonchar A. A., and Shabanov B. M. Issues of increasing the network bandwidth and territorial accessibility of national research computer network of Russia	2	4–12
Abramov A. G., Gonchar A. A., Evseev A. V., Idrisov A. T., Novik D. V., and Shabanov B. M. National research and education networks of the Eurasian Economic Union countries: Current status and perspectives of integration	4	90–98
Adamovich I. M. and Volkov O. I. An approach to searching for anomalies in concrete historical data	3	136–146
Adamovich I. M. and Volkov O. I. Approach to record linking in technology of concrete historical investigation support based on fuzzy sets	2	137–145
Adamovich I. M. and Volkov O. I. Clustering algorithms for technology of concrete historical investigation support	4	112–123
Adamovich I. M. and Volkov O. I. Structural approach to record linking in technology of concrete historical investigation support	1	94–103
Arkhipov P. O., Trofimenkov A. K., Tsukanov M. V., and Nosova N. Yu. Study of methods for detecting key points when creating panoramic images	2	92–104
Begishev V. O. see Stepanov N. V.		
Belozеров A. O. and Mazur A. I. Machine learning for extrapolation problems with small dataset	2	13–22
Biryukova T. K. see Gershkovich M. M.		
Borisov A. V., Bosov A. V., and Zhukov D. V. Research and development strategy in the field of artificial intelligence IV: Chinese government policy	1	18–33
Borisov A. V., Bosov A. V., Zhukov D. V., and Ivanov A. V. Information aspects of security in transport: Analytical data processing	1	4–17
Bosov A. V. see Borisov A. V.		
Bosov A. V. see Borisov A. V.		
Butenko Yu. I., Stroganov Yu. V., Kvasnikov A. V., and Slavnov N. V. Phonetic-acoustic database of Russian tri-grams	1	55–62

	No.	Page
Chernyshov A. V. Determination of the required number of optical disks organized into hybrid structures for the purpose of development and maintenance of long-term electronic archives	2	105–114
Chitalov D. I. Improvement of the graphical interface of the OpenFOAM platform in terms of expanding the list of utilities for working with computational meshes	1	138–148
Diachenko D. Yu. see Sokolov I. A.		
Diachenko D. Yu. see Stepchenkov Yu. A.		
Diachenko Yu. G. see Sokolov I. A.		
Diachenko Yu. G. see Stepchenkov Yu. A.		
Dulin S. K. see Rozenberg I. N.		
Dulina N. G. see Rozenberg I. N.		
Durnovo A. A., Inkova O. Yu., and Popkova N. A. Database of hierarchies of logical-semantic relations: Architecture	1	114–125
Durnovo A. A., Inkova O. Yu., and Popkova N. A. Database of hierarchies of logical-semantic relations: User interface	3	103–115
Durnovo A. A. see Vakulenko V. V.		
Egorov V. B. Interrelation between the software-defined and conventional IP-networks	1	73–82
Egorov V. B. On combining the software-defined networking with the network functions virtualization	2	36–46
Evseev A. V. see Abramov A. G.		
Evseev A. V. see Abramov A. G.		
Gavrilov V. E. and Zatsarinny A. A. Problems and threats of some new digital technologies implementation	3	15–25
Gershkovich M. M. and Biryukova T. K. The method of data exchange management in automated information systems with semantic analysis of transmitted information elements	4	69–76
Gonchar A. A. see Abramov A. G.		
Gonchar A. A. see Abramov A. G.		
Goncharenko V. V. see Samokhina A. M.		
Goncharov A. A. Methods for retrieval of implicit logical-semantic relations from monolingual texts	3	92–102
Goncharov A. A. Methods for retrieval of implicit logical-semantic relations from parallel texts	4	32–44
Grigoryan R. K. see Samokhina A. M.		
Grinchenko S. N. On the comparative genesis of basic information technologies and socioeconomic formations of the Humankind	3	147–155
Grusho A. A., Grusho N. A., Zabezhailo M. I., Smirnov D. V., Timonina E. E., and Shorgin S. Ya. Detection of distribution drift	4	14–20

	No.	Page
Grusho A.A., Grusho N.A., Zabezhailo M.I., Smirnov D.V., Timonina E.E., and Shorgin S. Ya. Search of anomalies in big data	1	160–167
Grusho A.A., Grusho N.A., Zabezhailo M.I., Smirnov D.V., Timonina E.E., and Shorgin S. Ya. Some approaches to network DLP analysis	2	72–80
Grusho N.A. see Grusho A. A.		
Grusho N.A. see Grusho A. A.		
Grusho N.A. see Grusho A. A.		
Idrisov A. T. see Abramov A. G.		
Ilyin A.V. and Ilyin V.D. Method of target displacement of solution in situational management technologies	4	124–133
Ilyin V.D. Multicurrency digital payment system: Fundamentals of technological support	3	128–135
Ilyin V.D. S-modeling and digital technologies of economic activity	2	146–154
Ilyin V.D. S-modeling methodology: Development and application	1	104–113
Ilyin V.D. see Ilyin A. V.		
Inkova O. Yu. see Durnovo A. A.		
Inkova O. Yu. see Durnovo A. A.		
Ionenkov Yu. S. see Zatsarinny A. A.		
Ionenkov Yu. S. see Zatsarinny A. A.		
Ionenkov Yu. S. see Zatsarinny A. A.		
Ivanov A. V. see Borisov A. V.		
Kharitonov D. I. see Leontyev D. V.		
Khoroshilov A. A. see Nikitin Yu. V.		
Kirikov I. A. see Listopad S. V.		
Kirikov I. A. see Rumovskaya S. B.		
Korchazhkina O. M. Search optimization while solving enumeration problems in an advanced computer science course at the level of basic general education	4	145–156
Kovalev I. A., Satin Y. A., and Zeifman A. I. Convergence rate and stability estimates for a class of nonstationary Markov models of queues with impatient customers	4	21–31
Kovalev I. A. see Usov I. A.		
Krivenko M. P. Analysis of a monotone trend in a multiparameter case	1	83–93
Krivenko M. P. Noisy text analytics	4	45–58
Kvasnikov A. V. see Butenko Yu. I.		
Leontyev D. V. and Kharitonov D. I. Constructing of the brief reachability tree for program models in terms of Petri nets	2	23–35

	No.	Page
Listopad S. V. and Kirikov I. A. Architectures of intelligent agents of cohesive hybrid intelligent multiagent systems	2	81–91
Makarova A. E. see Nikitin Yu. V.		
Malashenko Yu. E. and Nazarova I. A. Analysis of the distribution of loads and resources in a multiuser network with equal-share internodal flows	3	71–80
Mazur A. I. see Belozеров A. O.		
Morozov N. V. see Sokolov I. A.		
Morozov N. V. see Stepchenkov Yu. A.		
Nazarova I. A. see Malashenko Yu. E.		
Nazrulloev P. L. see Odinaev R. N.		
Neychev R. G. see Samokhina A. M.		
Nikishin D. A. An approach to the development of a conceptual scheme of a geodata database with support for a multivariate representation of geoobjects	2	128–136
Nikishin D. A. Overview of approaches to space–time modeling and the main trends in the development of T-GIS	3	50–62
Nikitin Yu. V., Khoroshilov A. A., and Makarova A. E. Tokenization based on the method of functional patterns	4	59–68
Nosova N. Yu. see Arkhipov P. O.		
Novik D. V. see Abramov A. G.		
Odinaev R. N., Nazrulloev P. L., and Raimzoda F. Optimization process of the integrated plant protection method for dot models	4	134–144
Popkova N. A. see Durnovo A. A.		
Popkova N. A. see Durnovo A. A.		
Raimzoda F. see Odinaev R. N.		
Rogdestvenski Yu. V. see Stepchenkov Yu. A.		
Rozenberg I. N., Dulin S. K., and Dulina N. G. Geographic information system — tool for digital geodata transformation	1	46–54
Rumovskaya S. B. and Kirikov I. A. Modeling of the development of a complete early differential diagnosis and prognosis of the state of complex objects in medicine. Problems and prospects	3	26–35
Samokhina A. M., Neychev R. G., Goncharenko V. V., Grigoryan R. K., and Strijov V. V. Classification models for P300 evoked potentials	3	36–49
Satin Y. A. see Kovalev I. A.		
Shabanov B. M. see Abramov A. G.		
Shabanov B. M. see Abramov A. G.		
Shorgin S. Ya. see Grusho A. A.		
Shorgin S. Ya. see Grusho A. A.		

	No.	Page
Shorgin S. Ya. see Grusho A. A.		
Sinitsyn I. N. Analytical modeling and estimation of nonstationary normal processors with unsolved derivatives	2	58–71
Slavnov N. V. see Butenko Yu. I.		
Smeliansky R. L. see Stepanov E. P.		
Smirnov D. V. see Grusho A. A.		
Smirnov D. V. see Grusho A. A.		
Smirnov D. V. see Grusho A. A.		
Sokolov I. A., Stepchenkov Yu. A., Diachenko Yu. G., Morozov N. V., Stepchenkov D. Yu., and Diachenko D. Yu. Self-timed pipeline's soft error tolerance analysis	4	4–13
Stepanov E. P. and Smeliansky R. L. Comparative analysis of multipath transport protocols	2	155–170
Stepanov N. V., Turlikov A. M., and Begishev V. O. Optimal device associations in machine-to-machine networks of NB-IoT and LTE-M standards	3	63–70
Stepchenkov D. Yu. see Sokolov I. A.		
Stepchenkov D. Yu. see Stepchenkov Yu. A.		
Stepchenkov Yu. A., Diachenko Yu. G., Rogdestvenski Yu. V., Morozov N. V., Stepchenkov D. Yu., and Diachenko D. Yu. Self-timed shift register cases	3	81–91
Stepchenkov Yu. A. see Sokolov I. A.		
Strijov V. V. see Samokhina A. M.		
Stroganov Yu. V. see Butenko Yu. I.		
Suchkov A. P. Efficiency evaluation of capital and operating costs in the planning of the special-purpose information systems life cycle	1	126–137
Timonina E. E. see Grusho A. A.		
Timonina E. E. see Grusho A. A.		
Timonina E. E. see Grusho A. A.		
Trofimenkov A. K. see Arkhipov P. O.		
Tsukanov M. V. see Arkhipov P. O.		
Turlikov A. M. see Stepanov N. V.		
Usov I. A., Kovalev I. A., and Zeifman A. I. Truncation bounds for inhomogeneous Markov chains with continuous time and catastrophes	1	34–45
Vakulenko V. V., Durnovo A. A., and Zatsman I. M. Export functions in lexicographical databases	1	149–159
Volkov O. I. see Adamovich I. M.		
Volkov O. I. see Adamovich I. M.		
Volkov O. I. see Adamovich I. M.		
Volkov O. I. see Adamovich I. M.		

	No.	Page
Zabezhailo M. I. see Grusho A. A.		
Zabezhailo M. I. see Grusho A. A.		
Zabezhailo M. I. see Grusho A. A.		
Zatsarinny A. A. and Ionenkov Yu. S. On the use of expert methods in evaluating effectiveness and quality of information systems	2	47–57
Zatsarinny A. A. and Ionenkov Yu. S. Some issues of internal quality assessment of information systems	1	63–72
Zatsarinny A. A. and Ionenkov Yu. S. Some methodological issues of assessing the level of technological readiness of information systems projects	3	4–14
Zatsarinny A. A. see Gavrilov V. E.		
Zatsman I. M. A model of discovering novel terms and sentiments in texts	2	115–127
Zatsman I. M. The strategy of European digital education: Theoretical foundations for its creating	3	116–127
Zatsman I. M. Theoretical foundations of digital education: Subject domain media of informatics as the base of its objects' classification	4	77–89
Zatsman I. M. see Vakulenko V. V.		
Zeifman A. I. see Kovalev I. A.		
Zeifman A. I. see Usov I. A.		
Zhukov D. V. Some projects of nonstandard expert systems application	4	99–111
Zhukov D. V. see Borisov A. V.		
Zhukov D. V. see Borisov A. V.		

Правила подготовки рукописей статей для публикации в журнале «Системы и средства информатики»

Журнал «Системы и средства информатики» публикует теоретические, обзорные и дискуссионные статьи, посвященные научным исследованиям и разработкам в области информационных технологий.

Журнал издается на русском языке. По специальному решению редколлегии отдельные статьи могут печататься на английском языке.

Тематика журнала охватывает следующие направления:

- информационно-телекоммуникационные системы и средства их построения;
- архитектура и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и сетей;
- методы и средства защиты информации.

1. В журнале печатаются статьи, содержащие результаты, ранее не опубликованные и не предназначенные к одновременной публикации в других изданиях.

Публикация предоставленной автором(ами) рукописи не должна нарушать положений глав 69, 70 раздела VII части IV Гражданского кодекса, которые определяют права на результаты интеллектуальной деятельности и средства индивидуализации, в том числе авторские права, в РФ.

Ответственность за нарушение авторских прав, в случае предъявления претензий к редакции журнала, несут авторы статей.

Направляя рукопись в редакцию, авторы сохраняют свои права на данную рукопись и при этом передают учредителям и редколлегии журнала неисключительные права на издание статьи на русском языке (или на языке статьи, если он отличен от русского) и на перевод ее на английский язык, а также на ее распространение в России и за рубежом. Каждый автор должен представить в редакцию подписанный с его стороны «Лицензионный договор о передаче неисключительных прав на использование произведения», текст которого размещен по адресу <http://www.ipiran.ru/publications/licence.doc>. Этот договор может быть представлен в бумажном (в 2-х экз.) или в электронном виде (отсканированная копия заполненного и подписанного документа).

Редколлегия вправе запросить у авторов экспертное заключение о возможности публикации представленной статьи в открытой печати.

2. К статье прилагаются данные автора (авторов) (см. п. 8). При наличии нескольких авторов указывается фамилия автора, ответственного за переписку с редакцией.
3. Редакция журнала осуществляет экспертизу присланных статей в соответствии с принятой в журнале процедурой рецензирования.

Возвращение рукописи на доработку не означает ее принятия к печати.

Доработанный вариант с ответом на замечания рецензента необходимо прислать в редакцию.

4. Решение редколлегии о публикации статьи или ее отклонении сообщается авторам. Редколлегия может также направить авторам текст рецензии на их статью. Дискуссия по поводу отклоненных статей не ведется.

5. Редактура статей высылается авторам для просмотра. Замечания к редакции должны быть присланы авторами в кратчайшие сроки.
6. Рукопись предоставляется в электронном виде в форматах MS WORD (.doc или .docx) или L^AT_EX (.tex), дополнительно — в формате .pdf, на дискете, лазерном диске или электронной почтой. Предоставление бумажной рукописи необязательно.
7. При подготовке рукописи в MS Word рекомендуется использовать следующие настройки.

Параметры страницы: формат — A4; ориентация — книжная; поля (см): внутри — 2,5, снаружи — 1,5, сверху и снизу — 2, от края до нижнего колонтитула — 1,3.

Основной текст: стиль — «Обычный», шрифт — Times New Roman, размер — 14 пунктов, абзацный отступ — 0,5 см, 1,5 интервала, выравнивание — по ширине.

Рекомендуемый объем рукописи — не свыше 10 страниц указанного формата. При превышении указанного объема редколлегия вправе потребовать от автора сокращения объема рукописи.

Сокращения слов, помимо стандартных, не допускаются. Допускается минимальное количество аббревиатур.

Все страницы рукописи нумеруются.

Шаблоны примеров оформления представлены в Интернете:

<http://www.ipiran.ru/publications/collected/template.doc>

8. Статья должна содержать следующую информацию на **русском и английском языках**:
 - название статьи;
 - Ф.И.О. авторов, на английском можно только имя и фамилию;
 - место работы, с указанием города и страны и электронного адреса каждого автора;
 - сведения об авторах, в соответствии с форматом, образцы которого представлены на страницах:
http://www.ipiran.ru/journal/collected/2019_29_03_rus/authors.asp и
http://www.ipiran.ru/journal/collected/2019_29_03_eng/authors.asp;
 - аннотация (не менее 100 слов на каждом из языков). Аннотация — это краткое резюме работы, которое может публиковаться отдельно. Она является основным источником информации в информационных системах и базах данных. Английская аннотация должна быть оригинальной, может не быть дословным переводом русского текста и должна быть написана хорошим английским языком. В аннотации не должно быть ссылок на литературу и, по возможности, формул;
 - ключевые слова — желательно из принятых в мировой научно-технической литературе тематических тезаурусов. Предложения не могут быть ключевыми словами.
 - источники финансирования работы (ссылка на гранты, проекты, поддерживающие организации и т. п.).
9. Требования к спискам литературы.

Ссылки на литературу в тексте статьи нумеруются (в квадратных скобках) и располагаются в каждом из списков литературы в порядке первых упоминаний.

Списки литературы представляются в двух вариантах:

- (1) **Список литературы к русскоязычной части.** Русские и английские работы — на языке и в алфавите оригинала.
- (2) **References.** Русские работы и работы на других языках — в латинской транслитерации с переводом на английский язык; английские работы и работы на других языках — на языке оригинала.

Необходимо для составления списка “References” пользоваться размещенной на сайте <http://www.translit.net/ru/bgn/> бесплатной программой транслитерации русского текста в латиницу.

Список литературы “References” приводится полностью отдельным блоком, повторяя все позиции из списка литературы к русскоязычной части, независимо от того, имеются или нет в нем иностранные источники. Если в списке литературы к русскоязычной части есть ссылки на иностранные публикации, набранные латиницей, они полностью повторяются в списке “References”.

Примеры ссылок на различные виды публикаций в списке “References”:

Описание статьи из журнала:

Zhang, Z., and D. Zhu. 2008. Experimental research on the localized electrochemical micromachining. *Russ. J. Electrochem.* 44(8):926–930. doi:10.1134/S1023193508080077.

Описание статьи из электронного журнала:

Swaminathan, V., E. Lepkoswka-White, and B. P. Rao. 1999. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. *JCMC* 5(2). Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (accessed April 28, 2011).

Описание материалов конференций:

Usmanov, T. S., A. A. Gusmanov, I. Z. Mullagalin, R. Ju. Muhametshina, A. N. Chervyakova, and A. V. Sveshnikov. 2007. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6-go Mezhdunarodnogo Simpoziuma “Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol’zovaniya i povyshe-niya neftegazootdachi”* [6th Symposium (International) “New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact” Proceedings]. Moscow. 267–272.

Описание книги (монографии, сборники):

Lindorf, L. S., and L. G. Mamikonians, eds. 1972. *Ekspluatatsiya turbogeneratorov s neposredstvennym okhlazhdeniem* [Operation of turbine generators with direct cooling]. Moscow: Energy Publs. 352 p.

Описание переводной книги (в списке литературы к русскоязычной части необходимо указать: / Пер. с англ. — после названия книги, а в конце ссылки указать оригинал книги в круглых скобках):

1. В русскоязычной части:

Тимошенко С. П., Янг Д. Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле / Пер. с англ. — М.: Машиностроение, 1985. 472 с. (*Timoshenko S. P., Young D. H., Weaver W.* Vibration problems in engineering. — 4th ed. — New York, NY, USA: Wiley, 1974. 521 p.)

2. В англоязычной части:

Timoshenko, S. P., D. H. Young, and W. Weaver. 1974. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, NY: Wiley. 521 p.

Описание неопубликованного документа:

Latypov, A. R., M. M. Khasanov, and V. A. Baikov. 2004. Geology and production (NGT GiD). Certificate on official registration of the computer program No. 2004611198. (In Russian, unpubl.)

Описание интернет-ресурса:

Pravila tsitirovaniya istochnikov [Rules for the citing of sources]. Available at: <http://www.scribd.com/doc/1034528/> (accessed February 7, 2011).

Описание диссертации или автореферата диссертации:

Semenov, V. I. 2003. Matematicheskoe modelirovanie plazmy v sisteme kompaktnyy tor [Mathematical modeling of the plasma in the compact torus]. Moscow. D.Sc. Diss. 272 p.

Kozhunova, O. S. 2009. Tekhnologiya razrabotki semanticheskogo slovary informatzionnogo monitoringa [Technology of development of semantic dictionary of information monitoring system]. PhD Thesis. Moscow: IPI RAN. 23 p.

Описание ГОСТа:

GOST 8.586.5-2005. 2007. Metodika vypolneniya izmereniy. Izmerenie raskhoda i kolichestva zhidkostey i gazov s pomoshch'yu standartnykh suzhayushchikh ustroystv [Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]. Moscow: Standardinform Publs. 10 p.

Описание патента:

Bolshakov, M. V., A. V. Kulakov, A. N. Lavrenov, and M. V. Palkin. 2006. Sposob orientirovaniya po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoy golovkoy samonavedeniya [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF No. 2280590.

10. Присланные в редакцию материалы авторам не возвращаются.
11. При отправке файлов по электронной почте просим придерживаться следующих правил:
 - указывать в поле subject (тема) название журнала и фамилию автора;
 - использовать attach (присоединение);
 - в состав электронной версии статьи должны входить: файл, содержащий текст статьи, и файл(ы), содержащий(е) иллюстрации.
12. Журнал «Системы и средства информатики» является некоммерческим изданием. Плата за публикацию не взимается, гонорар авторам не выплачивается.

Адрес редакции журнала «Системы и средства информатики»:

Москва 119333, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, ФИЦ ИУ РАН

Тел.: +7 (499) 135-86-92 Факс: +7 (495) 930-45-05

e-mail: ssi@frccsc.ru (Стригина Светлана Николаевна)

<http://www.ipiran.ru/journal/collected>

Requirements for manuscripts submitted to Journal “Systems and Means of Informatics”

Journal “Systems and Means of Informatics” publishes theoretical, review, and discussion articles on the research and development in the field of information technology.

The journal is published in Russian. By a special decision of the editorial board, some articles can be published in English.

Topics covered include the following areas:

- information and communication systems and tools of their design;
- architecture and software of computational complexes and networks; and
- methods and tools of information protection.

1. The Journal publishes original articles which have not been published before and are not intended for simultaneous publication in other editions. An article submitted to the Journal must not violate the Copyright law. Sending the manuscript to the Editorial Board, the authors retain all rights of the owners of the manuscript and transfer the nonexclusive rights to publish the article in Russian (or the language of the article, if not Russian) and its distribution in Russia and abroad to the Founders and the Editorial Board. Authors should submit a letter to the Editorial Board in the following form:

Agreement on the transfer of rights to publish:

“We, the undersigned authors of the manuscript “. . . ,” pass to the Founder and the Editorial Board of the Journal “Systems and Means of Informatics” the nonexclusive right to publish the manuscript of the article in Russian (or in English) in both print and electronic versions of the Journal. We affirm that this publication does not violate the Copyright of other persons or organizations.

Author(s) signature(s): (name(s), address(es), date).”

This agreement should be submitted in paper form or in the form of a scanned copy (signed by the authors).

The Editorial Board has the right to request from the authors an official expert conclusion that the submitted article has no classified data prohibited for publication.

2. A submitted article should be attached with **the data on the author(s)** (see item 8). If there are several authors, the contact person should be indicated who is responsible for correspondence with the Editorial Board and other authors about revisions and final approval of the proofs.
3. The Editorial Board of the Journal examines the article according to the established reviewing procedure. If authors receive their article for correction after reviewing, it does not mean that the article is approved to be published. The corrected article should be sent to the Editorial Board for the subsequent review and approval.
4. The decision on the article publication or its rejection is communicated to the authors. The Editorial Board may also send the reviews on the submitted articles to the authors. Any discussion upon the rejected articles is not possible.
5. The edited articles will be sent to the authors for proofread. The comments of the authors to the edited text of the article should be sent to the Editorial Board as soon as possible.
6. The manuscript of the article should be presented electronically in the MS WORD (.doc or .docx) or L^AT_EX (.tex) formats, and additionally in the .pdf format. All documents

may be sent by e-mail or provided on a CD or diskette. A hard copy submission is not necessary.

7. The recommended typesetting instructions for manuscript.

Pages parameters: format A4, portrait orientation, document margins (cm): left — 2.5, right — 1.5, above — 2.0, below — 2.0, footer 1.3.

Text: font — Times New Roman, font size — 14, paragraph indent — 0.5, line spacing — 1.5, justified alignment.

The recommended manuscript size: not more than 10 pages of the specified format. If the specified size exceeded, the editorial board is entitled to require the author to reduce the manuscript.

Use only standard abbreviations. Avoid abbreviations in the title and abstract. The full term for which an abbreviation stands should precede its first use in the text unless it is a standard unit of measurement.

All pages of the manuscript should be numbered.

The templates for the manuscript typesetting are presented on site:

<http://www.ipiran.ru/publication/collected/template.doc>

8. Articles should enclose data both in **Russian and English**:

- title;
- author's name and surname;
- affiliation — organization, its address with ZIP code, city, country, and official e-mail address;
- data on authors according to the format (see site):
http://www.ipiran.ru/journal/collected/2019_29_03_rus/authors.asp and
http://www.ipiran.ru/journal/collected/2019_29_03_eng/authors.asp;
- abstract (not less than 100 words) both in Russian and in English. Abstract is a short summary of the article that can be published separately. The abstract is the main source of information on the article and it could be included in leading information systems and data bases. The abstract in English has to be an original text and should not be an exact translation of the Russian one. Good English is required. In abstracts, avoid references and formulae.
- Indexing is performed on the basis of keywords. The use of keywords from the internationally accepted thematic Thesauri is recommended.
Important! Keywords must not be sentences.
- Acknowledgments.

9. References. Russian references have to be presented both in English translation and in Latin transliteration (refer <http://www.translit.net/ru/bgn/>).

Please take into account the following examples of Russian references appearance:

Article in journal:

Zhang, Z., and D. Zhu. 2008. Experimental research on the localized electrochemical micromachining. *Russ. J. Electrochem.* 44(8):926–930. doi:10.1134/S1023193508080077.

Journal article in electronic format:

Swaminathan, V., E. Lepkoswka-White, and B. P. Rao. 1999. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic

exchange. *JCMC* 5(2). Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/> (accessed April 28, 2011).

Conference proceedings:

Usmanov, T. S., A. A. Gusmanov, I. Z. Mullagalin, R. Ju. Muhametshina, A. N. Chervyakova, and A. V. Sveshnikov. 2007. Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6-go Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursoberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povyshe-niya neftegazootdachi"* [6th Symposium (International) "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact" Proceedings]. Moscow. 267–272.

Books and other monographs:

Lindorf, L. S., and L. G. Mamikoniants, eds. 1972. *Ekspluatatsiya turbogenera-torov s neposredstvennym okhlazhdeniem* [Operation of turbine generators with direct cooling]. Moscow: Energy Publs. 352 p.

Dissertation and Thesis:

Kozhunova, O. S. 2009. Tekhnologiya razrabotki semanticheskogo slovary informat-sionnogo monitoringa [Technology of development of semantic dictionary of information monitoring system]. Moscow: IPI RAN. PhD Thesis. 23 p.

State standards and patents:

GOST 8.586.5-2005. 2007. Metodika vypolneniya izmereniy. Izmerenie raskhoda i kolichstva zhidkostey i gazov s pomoshch'yu standartnykh suzhayushchikh ustroystv [Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices]. M.: Standardinform Publs. 10 p.

Bolshakov, M. V., A. V. Kulakov, A. N. Lavrenov, and M. V. Palkin. 2006. Sposob orientirovaniya po krenu letatel'nogo apparata s opticheskoy golovkoy samonavedeniya [The way to orient on the roll of aircraft with optical homing head]. Patent RF No. 2280590.

References in Latin transcription are presented in the original language.

References in the text are numbered according to the order of their first appearance; the number is placed in square brackets. All items from the reference list should be cited.

10. Manuscripts and additional materials are not returned to Authors by the Editorial Board.
11. Submissions of files by e-mail must include:
 - the journal title and author's name in the "Subject" field;
 - an article and additional materials have to be attached using the "attach" function;
 - an electronic version of the article should contain the file with the text and a separate file with figures.
12. "System and Means of Informatics" journal is not a profit publication. There are no charges for the authors as well as there are no royalties.

Editorial Board address:

FRC CSC RAS, 44, block 2, Vavilov Str., Moscow 119333, Russia

Ph.: +7 (499) 135 86 92, Fax: +7 (495) 930 45 05

e-mail: ssi@frccsc.ru (to Svetlana Strigina)

http://www.ipiran.ru/english/journal_systems.asp

SYSTEMS AND MEANS OF INFORMATICS (SISTEMY I SREDSTVA INFORMATIKI)

SCIENTIFIC JOURNAL

Volume 32 No.4 Year 2022

Editor-in-Chief and Chair of Editorial Council

Academician I. A. Sokolov

IN THIS ISSUE:

SELF-TIMED PIPELINE'S SOFT ERROR TOLERANCE ANALYSIS

*I. A. Sokolov, Yu. A. Stepchenkov, Yu. G. Diachenko, N. V. Morozov,
D. Yu. Stepchenkov, and D. Yu. Diachenko*

4

DETECTION OF DISTRIBUTION DRIFT

*A. A. Grusho, N. A. Grusho, M. I. Zabezhailo, D. V. Smirnov, E. E. Timonina,
and S. Ya. Shorgin*

14

CONVERGENCE RATE AND STABILITY ESTIMATES FOR A CLASS

OF NONSTATIONARY MARKOV MODELS OF QUEUES WITH IMPATIENT CUSTOMERS

I. A. Kovalev, Y. A. Satin, and A. I. Zeifman

21

METHODS FOR RETRIEVAL OF IMPLICIT LOGICAL-SEMANTIC RELATIONS
FROM PARALLEL TEXTS

A. A. Goncharov

32

NOISY TEXT ANALYTICS

M. P. Krivenko

45

TOKENIZATION BASED ON THE METHOD OF FUNCTIONAL PATTERNS

Yu. V. Nikitin, A. A. Khoroshilov, and A. E. Makarova

59

THE METHOD OF DATA EXCHANGE MANAGEMENT IN AUTOMATED INFORMATION
SYSTEMS WITH SEMANTIC ANALYSIS OF TRANSMITTED INFORMATION ELEMENTS

M. M. Gershkovich and T. K. Biryukova

69

THEORETICAL FOUNDATIONS OF DIGITAL EDUCATION: SUBJECT DOMAIN MEDIA
OF INFORMATICS AS THE BASE OF ITS OBJECTS' CLASSIFICATION

I. M. Zatsman

77