

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
д.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
д.ф.-м.н. Р. В. Разумчик
С. Н. Стригина

© Федеральный исследовательский центр «Информатика
и управление» Российской академии наук, 2023

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» ВИНТИ
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 33 № 2 Год 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Мультиплексируемый самосинхронный конвейер Ю. А. Степченков, Ю. Г. Дьяченко, Д. Ю. Степченков, Д. Ю. Дьяченко, Г. А. Орлов	4
Распознавание аномалий на разновременных панорамах с использованием нейросетевого метода консолидации моделей П. О. Архипов, С. Л. Филиппских	13
Применение биспектрального анализа в обнаружении deepfake-изображений С. П. Никитенкова	25
Направления развития методологической базы для работы с геоданными в перспективных геоинформационных системах Д. А. Никишин	34
Выбор технологических решений для поддержки процесса синтеза геоданных инфраструктуры железнодорожного транспорта И. Н. Розенберг, С. К. Дулин	46
Визуальный язык репрезентации процесса управления конфликтами в гибридных интеллектуальных многоагентных системах С. Б. Румовская, И. А. Кириков	60
Причинно-следственные связи в задачах анализа ненаблюдаемых свойств процессов А. А. Грушо, М. И. Забежайло, В. В. Кульченков, Д. В. Смирнов, Е. Е. Тимонина, С. Я. Шоргин	71
Методический подход к выбору ключевых показателей эффективности для оценки организаций информационно-технологической сферы А. А. Зацаринный, Ю. С. Ионенков	79

СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАТИКИ

Том 33 № 2 Год 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Система ситуационного управления как мультисервисная технология в облачной среде: сервисы аналитики А. П. Сучков	88
Некоторые вопросы дезагрегации и компонуемости инфраструктуры центра обработки данных В. Б. Егоров	101
Разработка модуля для работы с решателем plasticStressedFoam на базе пакета OpenFOAM Д. И. Читалов	111
Теория S-символов: формализация знаний об S-задачах В. Д. Ильин	124
Применение алгоритма CHAID в технологии поддержки конкретно-исторических исследований И. М. Адамович, О. И. Волков	132
Об авторах	142
Правила подготовки рукописей статей	145
Requirements for manuscripts	149

МУЛЬТИПЛЕКСИРУЕМЫЙ САМОСИНХРОННЫЙ КОНВЕЙЕР*

*Ю. А. Степченков¹, Ю. Г. Дьяченко², Д. Ю. Степченков³, Д. Ю. Дьяченко⁴,
Г. А. Орлов⁵*

Аннотация: Рассматривается проблема корректной практической реализации самосинхронного (СС) конвейера с мультиплексированием активно работающих ступеней с учетом схмотехнических ограничений, накладываемых используемой технологией. Дополнение двух параллельных ветвей СС FIFO (First-Input–First-Output) маркера сокращает среднюю задержку конвейера и обеспечивает самосинхронность его работы. При достаточной емкости FIFO последовательные порции данных могут обрабатываться одновременно разными ветвями конвейера. Схмотехнические решения отдельных узлов мультиплексированного конвейера гарантируют его практическую реализуемость в базисе любой технологии комплементарный металл – диэлектрик – полупроводник (КМДП) на отечественных полупроводниковых фабриках.

Ключевые слова: самосинхронная схема; конвейер; мультиплексирование; задержка конвейера; производительность

DOI: 10.14357/08696527230201

1 Введение

Реализация СС (в англоязычной литературе — self-timed) [1] схем в виде конвейера широко используется для повышения производительности вычислительных систем, построенных в соответствующем базисе [2–4]. Самосинхронная схема отличается от синхронной схемы строгим чередованием двух фаз работы (рабочей и спейсерной) и обязательной индикацией окончания переключения схемы в каждую фазу. Эти свойства обеспечивают ряд преимуществ СС-схем в сравнении с синхронными аналогами [5, 6] и контроль корректности переключения СС-схемы, но снижают ее быстродействие. Разбиение СС-схемы на ступени конвейера упрощает ее индикацию в рамках одной ступени и за счет это-

* Исследование выполнено в рамках гранта Российского научного фонда (проект 22-19-00237).

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

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

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

⁴Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, diaden87@gmail.com

⁵Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, orlov.jaja@gmail.com

го повышает ее производительность — число порций данных, обрабатываемых в единицу времени.

Дополнительное повышение производительности в рамках конвейерной реализации цифровой схемы обеспечивается с помощью опционального уменьшения задержки конвейера — времени обработки конвейером текущей порции исходных данных. На практике исходные данные в ряде случаев допускают обход некоторых этапов обработки данных или замену их более простыми вычислениями. В СС-схемах обход ступени конвейера означает принудительное удержание ее в спейсерной фазе, что позволяет уменьшить энергопотребление и задержку конвейера.

Самосинхронный конвейер функционирует на основе запрос-ответного взаимодействия ступеней: i -я ступень может начать переключение в рабочую (спейсерную) фазу, если $(i + 1)$ -я ступень подтвердила завершение своего переключения в спейсерную (рабочую) фазу. Поэтому реализация обхода отдельных ступеней конвейера требует учета соответствующих условий. Определение таких условий и техническая реализация схемы управления, обеспечивающей самосинхронность СС-конвейера с изменяемым маршрутом обработки данных, является актуальной задачей, решение которой в зарубежной и отечественной технической литературе авторам не известно. Данная статья рассматривает теоретическое обоснование эффективности мультиплексирования ступеней конвейера и исследует возможные варианты решения описанной проблемы с учетом ограниченного базиса схмотехнической реализации.

2 Структура конвейера с мультиплексированием путей

На рис. 1 представлена обобщенная структурная схема СС-конвейера, включающая N последовательных ступеней в основном тракте обработки данных и L ступеней параллельного тракта, заменяющего $N - 2$ средних ступеней основного тракта. Отдельно обозначены блоки, обеспечивающие демультиплексирование промежуточных данных после первой ступени и их мультиплексирование перед последней ступенью конвейера. Здесь D_{in} — входные данные; D_{out} — выходные данные; C_k , $k = 1, \dots, N + L$, — ступени конвейера; ДМ — демультиплексор $1 : 2$; М — мультиплексор $2 : 1$; I_k , $k = 1, \dots, N + L$, — индикаторные выходы ступеней; E_k , $k = 1, \dots, N + L$, — фазовые входы ступеней; U — признак выполнения условия, разрешающего замену $N - 2$ ступеней основного тракта конвейера L ступенями параллельного тракта; S_U — сигнал выбора пути в начале разветвления; S_P — сигнал выбора пути в конце разветвления; R_{in} и R_{out} — входной и выходной сигналы запроса; A_{in} и A_{out} — входной и выходной сигналы подтверждения.

Порядок вывода результатов обработки данных, строго соответствующий порядку поступления входных данных, обеспечивает FIFO маркера пути. Маркер пути DP_1 , сформированный ступенью C_1 , записывается в FIFO и гарантирует корректный выбор тракта обработки данных ступенью C_N . Запись в FIFO

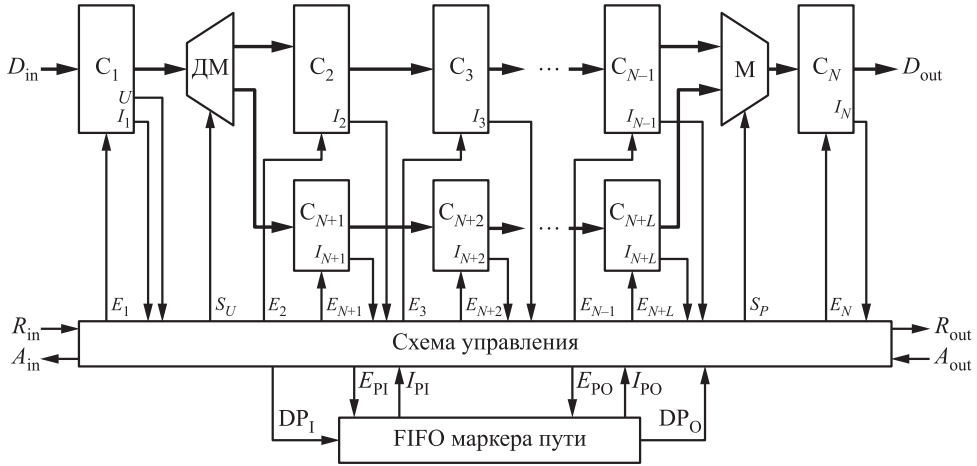


Рис. 1 Обобщенная схема СС-конвейера

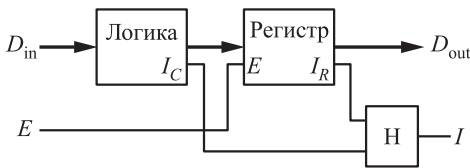


Рис. 2 Структурная схема ступени СС-конвейера (Н — Г-триггер)

происходит под управлением сигнала E_{PI} . Чтение из FIFO инициируется сигналом E_{PO} .

Структурная схема одной ступени СС-конвейера показана на рис. 2. Блок «Логика» отображает комбинационную часть ступени конвейера. Информационные входы D_{in} и выходы D_{out} представлены в парафазном

коде. Вход управления E разрешает фазовые переключения регистра. Фаза работы комбинационной части определяется фазой информационных входов D_{in} . Гистерезисный триггер (Г-триггер, [1]) формирует общий индикаторный выход ступени I , объединяя индикаторные выходы комбинационной части I_C и регистра I_R . Принудительное поддержание спейсера на входах D_{in} гарантирует сохранение спейсерного состояния и на выходе D_{out} независимо от значения входа управления E . Это свойство облегчает построение СС-конвейера с мультиплексированием трактов данных.

Основные преимущества СС-схем в сравнении с синхронными аналогами — корректное поведение при любых задержках элементов и отсутствие глобальной синхронизации. Следовательно, задержки параллельных участков $\{C_2, C_3, \dots, C_{N-1}\}$ и $\{C_{N+1}, C_{N+2}, \dots, C_{N+L}\}$ конвейера на рис. 1 могут находиться в произвольном отношении независимо от числа ступеней в каждом из них. Поэтому во избежание гонок между последовательными порциями обрабатываемых исходных данных на выходе конвейера переключение между параллельными трактами данных регулируется FIFO маркера пути.

В синхронном конвейере демультиплексор и мультиплексор, обеспечивающие выбор одного тракта обработки данных из двух параллельных, снижают частоту синхронизации, так как она рассчитывается для наихудшего случая, в котором задержка схемы мультиплексирования добавляется к общему времени обработки данных (задержке конвейера).

В СС-конвейере нет необходимости учитывать наихудший случай. Его производительность характеризуется статистически усредненным временем обработки данных и зависит от значения обрабатываемых данных и условий эксплуатации. Поэтому увеличение задержки конвейера в наихудшем случае может компенсироваться ее уменьшением в остальных случаях.

Пусть ступени C_2 и C_3 в СС-конвейере на рис. 1 самые сложные и потому медленные, задержки их переключения в рабочую и спейсерную фазы равны T_0 и $L \leq N - 2$. Тогда в соответствии с указанными выше принципами работы СС-схем задержка основной ветви конвейера, включающей ступени C_1 – C_N , равна $(NT_0 + T_{DM} + T_M)$, где T_{DM} — задержка срабатывания блока ДМ; T_M — задержка срабатывания блока М. Периодичность появления результата на выходе ступени C_N при непрерывном потоке входных данных равна $4T_0$.

Проход данных по альтернативному пути, включающему ступени $C_1, C_{N+1}, \dots, C_{N+L}, C_N$, характеризуется задержкой $((L + 2)T_1 + T_{DM} + T_M)$, где T_1 — задержка переключения в рабочую и спейсерную фазу самых задержанных четной и нечетной ступеней альтернативного пути, и периодичностью $4T_1$. Поскольку $T_1 < T_0$ и $L \leq N - 2$, использование альтернативного пути ускоряет работу конвейера: чем меньше T_1 и L , тем значительнее ускорение.

Важную роль в организации СС-мультиплексирования путей обработки данных в конвейере играет схема управления.

3 Реализация управления мультиплексируемым самосинхронным конвейером

Реализация схемы управления мультиплексируемого конвейера базируется на следующих принципах:

- обработка последовательных порций данных может выполняться одновременно в обоих путях;
- первая и последняя ступени пути, не являющегося текущим активным, принудительно удерживаются в спейсере;
- в рабочую фазу переключается первая ступень только того пути, на который указывает маркер пути, сформированный ступенью C_1 ;
- в рабочую фазу переключается последняя ступень только того пути, на который указывает маркер в выходной ячейке FIFO.

Выбор активного пути в точке разветвления конвейера на рис. 1 осуществляется ступенью C_1 , формирующей маркер пути, который через СС-FIFO

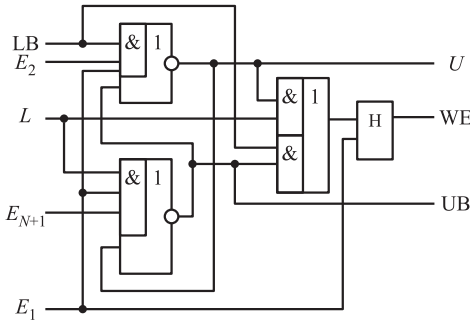


Рис. 3 Схема триггера режима и управления регистром ступени C_1

только после срабатывания индикатора триггера режима, подтверждающего установку текущего маркера пути (U, UB). Переключение маркера пути в новое значение происходит только в спейсерной фазе ступеней C_2 и C_{N+1} .

Демultipлексор на выходе ступени C_1 коммутирует выходы ее регистра на входы ступени C_2 при $U = 0$ или ступени C_{N+1} при $U = 1$. Поскольку изменение маркера U происходит во время спейсерной фазы регистра ступени C_1 , переключение на другой путь обработки данных не вызывает нарушения самосинхронности.

Схема одной ячейки СС-FIFO (RGI) показана на рис. 4. Она реализована на двухвходовых Г-триггерах со сбросом в спейсер [7]. Здесь (X, XB) — парафазный информационный вход с нулевым спейсером; (Y, YB) — парафазный выход с нулевым спейсером; E — фазовый вход управления; R — вход сброса; I — индикаторный выход. При $R = 0$ разряд FIFO переключается в спейсерное состояние $Y = YB = 0$ независимо от остальных входов.

Рисунок 5 демонстрирует схему СС-FIFO; FIFO на элементах RGI относится к полуплотным [8]. В процессе его заполнения лишь каждая вторая ячейка хранит бит информации в парафазном коде, а остальные находятся в спейсере. Емкость схемы FIFO на рис. 5 — 3 бита. Особенность СС-FIFO — автономное про-

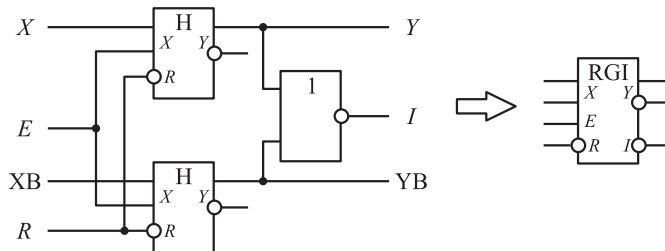


Рис. 4 Схема одной ячейки FIFO

доставляется к ступени C_N , объединяющей параллельные пути. Изменение значения маркера происходит в спейсерной фазе регистра ступени C_1 для обеспечения гарантированного сохранения спейсерного состояния на входе неактивной ветви конвейера. Текущее значение маркера пути хранится в триггере режима, схема которого показана на рис. 3. Здесь (L, LB) — парафазный маркер пути с нулевым спейсером; WE — сигнал управления регистром ступени C_1 , формируемый

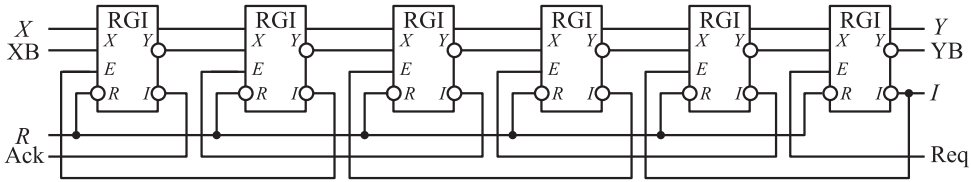


Рис. 5 Схема трехбитового FIFO

движение записанного бита от входной ячейки до ближайшей свободной ячейки. Выход Ack уведомляет ступень C_1 о состоянии первой ячейки FIFO: занята она или свободна. Вход Req регулирует фазовые переключения последней ячейки FIFO ступенью C_N .

Для оптимального функционирования конвейера на рис. 1 FIFO должно иметь емкость примерно $0,5(N + L) - 1$ бит. При меньшей емкости FIFO возможно замедление конвейера, хотя и при реализации FIFO в виде одной ячейки СС-конвейер будет функционировать корректно.

Последние ступени параллельных ветвей (C_{N-1} и C_{N+L}) не могут одновременно находиться в рабочей фазе. Поэтому мультиплексор перед ступенью C_N можно заменить многоразрядным элементом 2ИЛИ.

Сигнал управления регистром ступени C_N формируется на основе сигналов управления E_{N-1} , E_N и E_{N+L} ступенями конвейера, как показано на рис. 6.

Схемы на рис. 3–6 удовлетворяют схемотехническим ограничениям технологии КМДП с любыми топологическими нормами и могут быть реализованы как в виде заказной микросхемы, так и на базовом матричном кристалле на отечественной технологической базе.

Описанные схемотехнические решения были проверены на самосинхронность программой АСИАН [9], подтвердившей их корректность.

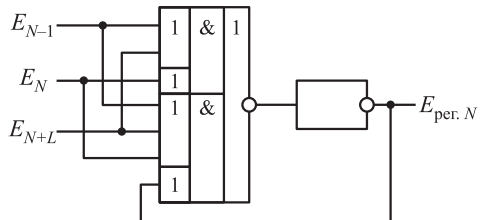


Рис. 6 Формирователь сигнала управления регистром ступени C_N

4 Заключение

В отличие от синхронного конвейера, СС-конвейер относится к полуплотным конвейерам. Из-за двухфазного режима работы при максимальной загрузке конвейера активная обработка данных происходит только в каждой второй ступени, остальные ступени находятся в состоянии ожидания или спейсера.

Производительность СС-конвейера ограничивается быстродействием самых сложных ступеней. Если они используются лишь для некоторых наборов входных

данных, увеличение производительности достигается реализацией альтернативных путей обработки данных в конвейере, обходящих сложные ступени, не востребованные текущим набором данных.

Предложенная структура СС-конвейера с мультиплексированием тракта обработки данных — две параллельные ветви обработки данных и FIFO маркера ветви — обеспечивает оптимальность реализации конвейера с селективируемыми опциями обработки информации. Кроме того, она позволяет повысить среднюю производительность конвейера, если задержка одной из его параллельных ветвей существенно меньше задержки другой ветви. Полуплотное FIFO на Г-триггерах не увеличивает латентности конвейера, если его емкость больше или равна половине от суммарного числа ступеней в параллельных ветвях.

Приведенные схематические решения отдельных узлов конвейера с мультиплексированием путей обработки данных гарантируют его практическую реализуемость в базисе заказной и полузаказной КМДП-технологии на отечественных полупроводниковых фабриках.

Литература

1. *Varshavsky V. I., Kishinevsky M. A., Marakhovsky V. B., Peschansky V. A.* Self-timed control of concurrent processes. — Kluwer Academic Publs., 1990. 245 p.
2. *Miyagi K., Sannomiya S., Iwata M., et al.* Low-powered self-timed pipeline with runtime fine-grain power supply // Conference (International) on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications Proceedings. — Las-Vegas, NV, USA: CSREA Press, 2012. P. 472–478.
3. *Jiang W., Sha E. H.-M., Zhuge Q., et al.* On the design of time-constrained and buffer-optimal self-timed pipelines // IEEE T. Comput. Aid. D., 2019. Vol. 38. No. 8. P. 1515–1528. doi: 10.1109/TCAD.2018.2846642.
4. *Yoshikawa S., Sannomiya S., Iwata M., Nishikawa H.* Pipeline stage level simulation method for self-timed data-driven processor on FPGA // 8th Electrical Engineering Congress (International). — IEEE, 2020. Art. 229515. 5 p. doi: 10.1109/iEECON48109.2020.229515.
5. *Соколов И. А., Степченко Ю. А., Дьяченко Ю. Г., Рождественский Ю. В., Каменских А. Н.* Базис реализации сбоеустойчивых электронных схем // Информатика и её применения, 2021. Т. 15. Вып. 4. С. 65–71. doi: 10.14357/19922264210409.
6. *Соколов И. А., Степченко Ю. А., Дьяченко Ю. Г., Морозов Н. В., Степченко Д. Ю., Дьяченко Д. Ю.* Анализ сбоеустойчивости самосинхронного конвейера // Системы и средства информатики, 2022. Т. 32. № 4. С. 4–13. doi: 10.14357/08696527220401.
7. *Степченко Ю. А., Денисов А. Н., Дьяченко Ю. Г. и др.* Библиотека функциональных ячеек для проектирования самосинхронных полузаказных БМК микросхем серий 5503/5507. — М.: Техносфера, 2017. 367 с. <http://www.technosphera.ru/lib/book/497>.
8. *Варшавский В. И., Кишиневский М. А., Мараховский В. Б. и др.* Автоматное управление асинхронными процессами в ЭВМ и дискретных системах / Под ред. В. И. Варшавского. — М.: Наука, 1986. 398 с.

9. Морозов Н. В., Рождественский Ю. В., Степченков Ю. А., Рождественскене А. В. Средства анализа системы булевых уравнений на полумодулярность и дистрибутивность АСИАН: Программа для ЭВМ. Свид. гос. рег. № 2006613257 от 15.09.2006.

Поступила в редакцию 22.11.22

MULTIPLEXED SELF-TIMED PIPELINE

*Yu. A. Stephenkov, Yu. G. Diachenko, D. Yu. Stephenkov, D. Yu. Diachenko,
and G. A. Orlov*

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

Abstract: The article considers the problem of correct practical implementation of a self-timed pipeline with multiplexing of actively operating stages taking into account the circuitry limitations imposed by the technology used. Complementing two parallel branches with a self-timed marker FIFO (First-Input–First-Output) reduces the average latency of the pipeline and ensures its operation is self-timed. With sufficient FIFO capacity, successive data portions can be processed simultaneously by different pipeline’s branches. The circuitry solutions of the multiplexed pipeline’s individual units guarantee pipeline practical feasibility in any complementary metal–oxide–semiconductor process at domestic semiconductor factories.

Keywords: self-timed circuit; pipeline; multiplexing; latency; performance

DOI: 10.14357/08696527230201

Acknowledgments

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

References

1. Varshavsky, V. I., M. A. Kishinevsky, V. B. Marakhovsky, and V. A. Peschansky. 1990. *Self-timed control of concurrent processes*. Kluwer Academic Publs. 245 p.
2. Miyagi, K., S. Sannomiya, M. Iwata, *et al.* 2012. Low-powered self-timed pipeline with runtime fine-grain power supply. *Conference (International) on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications Proceedings*. Las-Vegas, NV: CSREA Press. 472–478.
3. Jiang, W., E. H.-M. Sha, Q. Zhuge, *et al.* 2019. On the design of time-constrained and buffer-optimal self-timed pipelines. *IEEE T. Comput. Aid. D* 38(8):1515–1528. doi: 10.1109/TCAD.2018.2846642.
4. Yoshikawa, S., S. Sannomiya, M. Iwata, and H. Nishikawa. 2020. Pipeline stage level simulation method for self-timed data-driven processor on FPGA. *8th Elec-*

- trical Engineering Congress (International)*. IEEE. 229515. 5 p. doi: 10.1109/IEECON48109.2020.229515.
5. Sokolov, I. A., Yu. A. Stepchenkov, Yu. G. Diachenko, Yu. V. Rogdestvenski, and A. N. Kamenskih. 2021. Bazis realizatsii sboeustoychivyykh elektronnykh skhem [The electronic component base of failure resilience digital circuits]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 15(4):65–71. doi: 10.14357/19922264210409.
 6. Sokolov, I. A., Yu. A. Stepchenkov, Yu. G. Diachenko, N. V. Morozov, D. Yu. Stepchenkov, and D. Yu. Diachenko. 2022. Analiz sboeustoychivosti samosinkhronnogo konveyera [Self-timed pipeline’s soft error tolerance analysis]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 32(4):4–13. doi: 10.14357/08696527220401.
 7. Stepchenkov, Yu. A., A. N. Denisov, Yu. G. Diachenko, et al. 2017. *Biblioteka funktsional’nykh yacheek dlya proektirovaniya samosinkhronnykh poluzakaznykh BMK mikroshem seriy 5503/5507* [Functional cell library for designing self-timed semi-custom integrated circuits on 5503/5507 gate arrays]. Moscow: Tekhnosfera. 367 p. Available at: <http://www.technosfera.ru/lib/book/497> (accessed May 16, 2023).
 8. Varshavskiy, V. I., V. A. Kishinevskiy, V. B. Marakhovskiy, et al. 1986. *Avtomatnoe upravlenie asinkhronnymi protsessami v EVM i diskretnykh sistemakh* [Automata control of asynchronous processes in computers and discrete systems]. Ed. V. I. Varshavskiy. Moscow: Nauka. 398 p.
 9. Morozov, N. V., Yu. V. Rogdestvenski, Yu. A. Stepchenkov, and A. V. Rogdestvenskene. 15.09.2006. Sredstva analiza sistemy bulevykh uravneniy na polumodulyarnost’ i distributivnost’ ASIAN [Software tools ASIAN for analyzing the Boolean equation system for semimodularity and distributivity]. Certificate RF of State Registration of Computer Programs No. 2006613257.

Received November 22, 2022

Contributors

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

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 119133, 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

Orlov Georgii A. (b. 1994) — senior scientist, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; orlov.jaja@gmail.com

РАСПОЗНАВАНИЕ АНОМАЛИЙ НА РАЗНОВРЕМЕННЫХ ПАНОРАМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВОГО МЕТОДА КОНСОЛИДАЦИИ МОДЕЛЕЙ

П. О. Архипов¹, С. Л. Филиппских²

Аннотация: Описывается методика классификации аномалий на разновременных панорамах с применением нейросетевого метода консолидации моделей. Основная идея данного подхода заключается в разбиении модели глубокого обучения на составные части. Затем для каждой части подбираются и адаптируются существующие шаблоны проектирования. Для решения задачи классификации аномалий был разработан составной шаблон и спроектирована новая нейросетевая модель. Выполнено усовершенствование шаблона проектирования нейронных сетей ConvNet, основанное на технологии применения «плотных сверточных блоков». Для классификации аномалий разработан новый шаблон — SOTA-ConvNet, включающий готовую архитектуру нейросетевой модели, подходящую для работы с панорамными изображениями. Нейросетевая модель, построенная на базе шаблона SOTA-ConvNet, показала преимущества по сравнению с нейросетью на базе ConvNet: повысилась точность классификации изображений, на порядок уменьшилось число настраиваемых параметров.

Ключевые слова: панорамное изображение; консолидация моделей; многоклассовая классификация; шаблон проектирования; сверточная нейронная сеть; набор данных

DOI: 10.14357/08696527230202

1 Введение

Задача по обнаружению аномалий на сравниваемых разновременных панорамах инспектируемой местности широко представлена в работах [1–6]. Для решения этой задачи был разработан метод, реализующий поиск аномалий за счет обнаружения особых областей с высоким цветоразличием. Однако поиск таких областей не подразумевал задачу их классификации. Для автоматической идентификации обнаруженных объектов предлагается применить методы машинного обучения, которые помогут решить новую задачу, связанную с классификацией найденных аномалий (или объектов интереса) [7].

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

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

Классификация объектов, полученных с панорамных изображений, снятых с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), представляет собой задачу многоклассовой классификации. Каждое изображение должно быть отнесено к определенному, заранее заданному классу. Поэтому решение задачи классификации объектов предполагает построение модели глубокого обучения [8].

На сегодняшний день изображения размером 224×224 пикселя стали стандартными входными данными в задаче классификации при использовании глубокого обучения [9]. Для таких данных созданы высокоэффективные архитектуры нейронных сетей: DenseNet [10], Inception, Xception, EfficientNet [9] и др.

При классификации аномалий, полученных при сравнении одновременных панорам, ширина и высота большей части изображений не превышает 30 пикселей. По этой причине вышеперечисленные архитектуры нейронных сетей не подходят для решения поставленной задачи. С небольшими изображениями умеют работать либо устаревшие нейросетевые архитектуры (основанные на шаблоне ConvNet — AlexNet [8], VGG16, VGG19 [11]), либо мобильные архитектуры (MobileNet [12], ShuffleNet, SqueezeNet [9]). Однако нейронные сети, спроектированные на основе ConvNet, быстро переобучаются и показывают низкие результаты при работе с малочисленными классами [13]. Мобильные же архитектуры оптимизированы для работы на устройствах с низкой производительностью и ограниченной памятью. Такая оптимизация негативно сказывается на точности классификации [9].

Статья направлена на решение задачи классификации аномалий путем разработки подходящего инструмента глубокого обучения, основанного на современных архитектурах нейронных сетей, способного работать с малыми изображениями и на несбалансированных выборках. В основе данного инструмента лежит метод консолидации моделей (model amalgamation), заключающийся в разбиении нейросетевой модели на составные части и адаптации под подходящий шаблон проектирования глубоких нейронных сетей [9].

2 Шаблон проектирование SOTA-ConvNet

На сегодняшний день шаблоны проектирования играют очень важную роль при создании нейросетевых моделей. Их появление стало результатом обобщения опыта, полученного при исследовании и использовании нейронных сетей [9].

Перспективным в контексте решения задачи классификации аномалий может стать подход, основанный на применении нового шаблона проектирования разработанной нейросетевой модели. Очевидно, что наиболее подходящий из существующих шаблонов проектирования нейросетевой модели — это шаблон ConvNet, предназначенный для работы с небольшими изображениями. Для использования шаблона ConvNet в качестве базы для классификации выбранных аномалий в него необходимо было внести ряд изменений в соответствии с методом консолидации моделей. Разработанный новый шаблон проектирования получил название SOTA-ConvNet [14].

В структуре сверточных нейронных сетей традиционно выделяют три компонента: стержневой компонент, основная сверточная база и классификатор [9]. Для шаблона проектирования SOTA-ConvNet спроектирована трехкомпонентная макроархитектура, отражающая связи основных блоков нейросетевой модели.

3 Стержневой компонент SOTA-ConvNet

Стержневой компонент принимает на вход изображения найденных аномалий, выполняет начальное извлечение простых графических признаков (вертикальные, горизонтальные, наклонные линии и т. п.) и передает полученную информацию в основную сверточную базу. Стержневой компонент состоит из двух групп: предстержневой группы и стержневой сверточной группы.

Предстержневая группа выполняет препроцессинг изображений — масштабирует размеры изображений и нормализует значение каждого пикселя [9].

Стержневая сверточная группа выполняет первоначальное (довольно грубое) выделение признаков и минимизирует число параметров за счет уменьшения размеров карт признаков.

Оптимальное число карт признаков, которое необходимо предоставить на вход основной сверточной базе, составляет 64. Это значение было получено эмпирически в результате проведения большого числа экспериментов с различными архитектурами нейронных сетей [9].

В стержневой сверточной группе используется рецептивное поле 3×3 . На сегодняшний день это общепринятое значение для задач компьютерного зрения [9]. В первом слое большинства архитектур современных нейронных сетей проводится свертка и уменьшение размеров карт признаков. Но шаблон SOTA-ConvNet предназначен для работы с небольшими изображениями, и поэтому в первом слое проводится только свертка.

4 Основная сверточная база и классификатор SOTA-ConvNet

Основная сверточная база — это главный компонент нейросетевой модели, в котором идет усвоение признаков, найденных при анализе изображения [9].

Основная сверточная база состоит из одной или нескольких сверточных групп, и каждая группа состоит из одного или нескольких сверточных блоков.

Для построения основного компонента шаблона SOTA-ConvNet необходимо выбрать число и архитектуру сверточных блоков и групп. При работе с небольшими изображениями число групп напрямую зависит от размера изображений в конкретном наборе данных. Однако для упрощения и стандартизации шаблона все группы должны иметь одинаковую архитектуру, отличающуюся только размером входных изображений и числом фильтров.

Проблема сетей, построенных на базе шаблона ConvNet, кроется в разной скорости обучения слоев. Это означает, что слои, расположенные у выхода

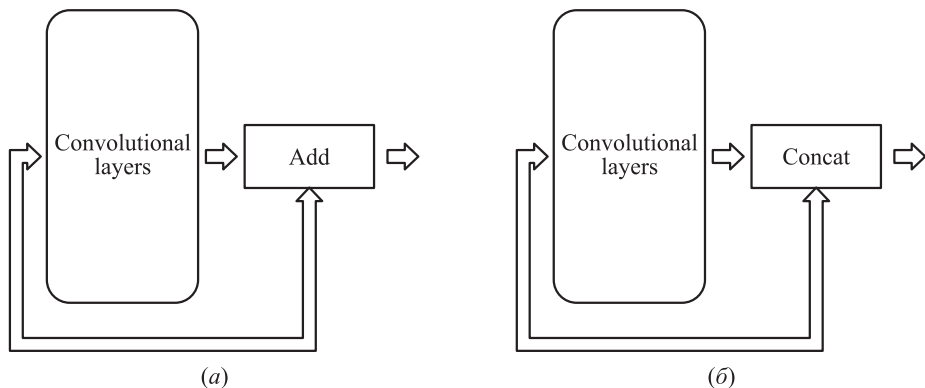


Рис. 1 Остаточный сверточный блок (residual convolutional block) (а) и плотный сверточный блок (dense convolutional block) (б)

нейронной сети, обучаются быстрее. В результате с увеличением глубины сети обучать ранние слои становится невозможно (до них не доходит сигнал ошибки) [13]. По этой причине, несмотря на рост сложности вычислений, точность работы модели снижается.

Для решения проблемы разной скорости обучения слоев нейронной сети в архитектуре ResNet был разработан новый шаблон остаточного сверточного блока [15]. Главной особенностью этого блока стала прямая связь между входом и выходом блока в обход сверточных слоев (рис. 1, а).

Выход блока состоит из суммы обнаруженных в сверточных слоях признаков и из входных данных. В результате остаточный сверточный блок либо изучает что-то полезное и способствует снижению ошибок сети, либо выполняет тождественное отображение [15].

Дальнейшим развитием идеи остаточного сверточного блока стал плотный сверточный блок, шаблон которого послужил основой для построения сети DenseNet [10]. Основная идея плотного блока — это повторное использование карт признаков. Для этого на выходе сумма заменена на конкатенацию — добавление исходных карт признаков к картам, полученным из сверточных слоев (рис. 1, б). Используя блоки из архитектуры DenseNet, можно получать сопоставимые результаты с сетями ResNet, но обучая при этом в два раза меньше параметров [10]. По этой причине в шаблоне SOTA-ConvNet в качестве сверточных блоков будут использоваться «плотные блоки».

Главная задача основной сверточной базы — преобразовывать двумерные данные на входе в одномерный вектор, с которым может работать классификатор. Плотный сверточный блок занимается извлечением признаков из входных карт. Каждый такой блок на выходе дает в два раза больше карт признаков, чем принял на вход [10]. В шаблоне ConvNet за уменьшение карт признаков отвечает

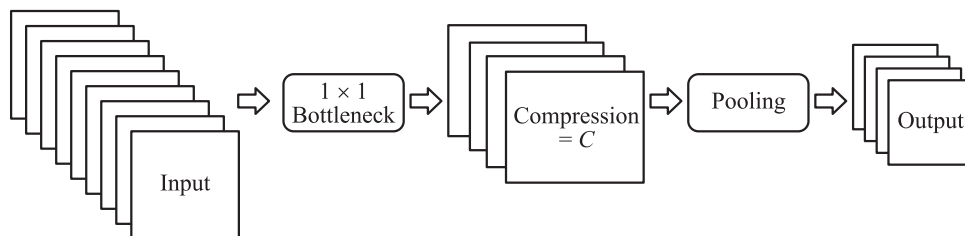


Рис. 2 Схема работы плотного переходного блока (dense transition block)

слой субдискретизации. Из-за плотных блоков в SOTA-ConvNet необходимо не только уменьшать размеры выходных данных, но и сокращать число карт перед передачей в новый плотный блок.

Для уменьшения числа и размеров карт признаков между сверточными блоками необходимо разместить плотные переходные блоки (рис. 2).

Каждый плотный блок состоит из двух слоев:

- (1) слой бутылочной свертки (bottleneck convolution), он уменьшает в C раз число карт признаков (C — коэффициент компрессии, настраиваемый под конкретную задачу);
- (2) слой субдискретизации (pooling), уменьшает площадь каждой карты признаков в 4 раза.

Последний компонент шаблона SOTA-ConvNet — это классификатор. У нейронных сетей на базе ConvNet классификаторы состояли из нескольких полносвязных слоев. В более поздних архитектурах число слоев в классификаторе уменьшилось до одного [9]. В SOTA-ConvNet классификатор состоит из одного плотного слоя с активационной функцией softmax.

5 Общая схема шаблона SOTA-ConvNet

Шаблон SOTA-ConvNet — это глубокая узкая сверточная нейросетевая модель, имеющая классическую трехкомпонентную макроархитектуру.

Стержневой компонент состоит из слоев для препроцессинга изображений и двух сверточных слоев из 32 и 64 нейронов (рис. 3).

Основная сверточная база состоит из нескольких плотных групп. Число таких групп зависит от размеров входных изображений (чем больше изображения, тем более глубокая сеть нужна для их обработки). В каждой группе находится один плотный сверточный блок. Число нейронов в блоках подбирается под каждую решаемую задачу.

Между плотными группами располагаются переходные блоки, которые постепенно уменьшают размеры и сокращают число карт признаков. Это необходимо для уменьшения числа настраиваемых параметров. После последней плотной

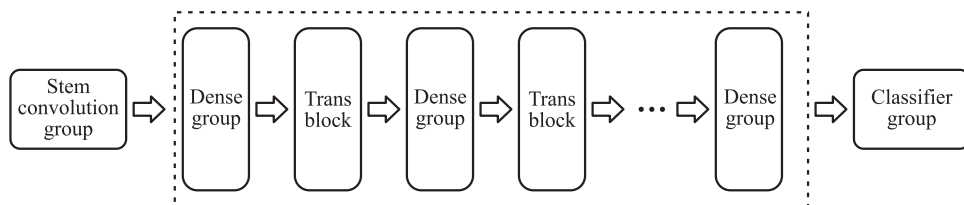


Рис. 3 Общая схема шаблона SOTA-ConvNet

группы не предусмотрен переходной блок, это сделано в целях более легкого переноса обучения. Слой последней субдискретизации можно выбрать в новом классификаторе, обученном под другую задачу. Классификатор состоит из одного плотного слоя с активационной функцией softmax.

6 Описание набора данных

Для экспериментов с моделями машинного обучения, построенными на базе шаблонов ConvNet и SOTA-ConvNet, был выбран набор данных (датасет) VisDrone2022 [16]. Для решения задачи многоклассовой классификации были вырезаны все объекты с каждого кадра датасета и сформированы 6 классов для обучения нейросетевой модели.

Весь набор данных разделен на три части: train (обучающее подмножество), valid (валидационное подмножество) и test (тестовое подмножество). На обучающем подмножестве тренируется нейросетевая модель, на валидационном подмножестве оценивается текущее качество обучения, на тестовом подмножестве проводится окончательная оценка обучения.

Из изображений сформирована следующая выборка:

класс 0 (bus): фотографии автобусов;

класс 1 (car): фотографии легковых автомобилей;

класс 2 (ignored_regions): фотографии случайных участков больших изображений — играют роль ложных срабатываний при поиске аномалий;

класс 3 (motor): фотографии мотоциклов;

класс 4 (pedestrian): фотографии пешеходов;

класс 5 (truck): фотографии грузовиков.

Для более точных оценок число изображений в подмножествах «valid» и «test» должно быть одинаковым (табл. 1) и иметь такое же разбиение по классам, как и «train» [13] (табл. 2).

Сформированный датасет состоит из изображений небольшого размера: ширина и высота 75% изображений не превышает 46 пикселей. Медианное значение по всему набору данных — 26 пикселей.

Таблица 1 Число фотографий в подмножествах train, valid и test

Подмножество	Число фотографий
train	290 207
valid	36 273
test	36 282

Таблица 2 Число фотографий в каждом классе

Классы	train, %	valid, %	test, %
0 (bus)	2,51	2,51	2,51
1 (car)	51,13	51,13	51,12
2 (ignored_regions)	3,36	3,36	3,36
3 (motor)	10,89	10,89	10,90
4 (pedestrian)	27,63	27,63	27,63
5 (truck)	4,48	4,48	4,48

7 Результаты обучения моделей

На основе ConvNet и SOTA-ConvNet были спроектированы две нейросетевые модели: сеть ConvNN на базе шаблона ConvNet и сеть SOTA-ConvNN на базе шаблона SOTA-ConvNet. Был проведен ряд экспериментов и выбраны лучшие параметры. Расчеты проводились на графическом ускорителе (GPU) Nvidia V100 в облачной среде вычислений Yandex DataSphere.

Для нейронных сетей необходимо было выбрать размер входного слоя, к которому будут масштабироваться все изображения в датасете. Для уменьшения зашумления изображений и лучшей оптимизации при вычислении на GPU был выбран размер 32×32 пикселя (ближайшая степень двойки к медианному значению в 26 пикселей).

Для обучения нейронных сетей применялся распространенный алгоритм Adam — метод стохастического градиентного спуска, основанный на адаптивной оценке моментов [17]. В качестве функции потерь использовалась категориальная перекрестная энтропия [13].

Первая модель — сеть ConvNN. Сеть состоит из четырех сверточных слоев (32, 64, 128, 256 нейронов), трех слоев MaxPooling и двух полносвязных слоев (256 и 6 нейронов). Последний полносвязный слой — с активационной функцией softmax. Число нейронов соответствует степеням двойки для лучшей оптимизации на GPU [13]. В нейросети 1 438 790 параметров, и все они настраиваемые.

Вторая модель — сеть SOTA-ConvNN. Число групп — 4, ширина сети — 64 нейрона, коэффициент компрессии — 0,8. В сети 12 сверточных слоев. Всего параметров — 801 980, из них 797 980 — настраиваемые.

Таблица 3 Точность классификации изображений нейросетевыми моделями ConvNN и SOTA-ConvNN

Класс	ConvNN, %	SOTA-ConvNN, %
0 (bus)	64,0	79,3
1 (car)	95,3	96,1
2 (ignored_regions)	39,8	67,0
3 (motor)	66,3	88,1
4 (pedestrian)	94,0	94,4
5 (truck)	51,0	71,2
Общая точность	87,2	92,2

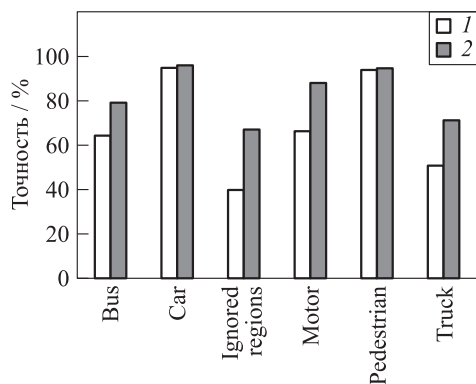


Рис. 4 Результаты работы сетей ConvNN (1) и SOTA-ConvNN (2)

В табл. 3 приведены результаты работы нейросетевых моделей на подмножестве test (метрика – точность).

На рис. 4 представлены результаты работы нейросетей ConvNN и SOTA-ConvNN в виде столбчатой диаграммы.

Общая точность сети SOTA-ConvNN выше, чем у сети ConvNN. Этот результат достигается за счет улучшения точности классификации малочисленных классов на 15%–27% (точность выросла у классов: bus — на 15,3%, ignored regions — на 27,2%, motor — на 21,8% и truck — на 20,2%).

8 Заключение

Нейросетевая модель, построенная на базе шаблона SOTA-ConvNet, показала ряд преимуществ по сравнению с нейросетью на базе ConvNet:

- меньшее число настраиваемых параметров при большей глубине сети (797 980 параметров и 12 сверточных слоев в SOTA-ConvNN, 1 438 790 параметров и 4 сверточных слоя в ConvNN);
- большая точность классификации изображений. Особенно это заметно при обработке малочисленных классов;
- для построения сети на базе шаблона SOTA-ConvNet требуется указать всего три гиперпараметра: число групп, ширину нейросети и коэффициент компрессии. Всю остальную архитектуру автоматически достраивает шаблон;

- повышение точности классификации малочисленных классов на 15%–27% (у bus увеличилась на 15,3%; ignored regions — на 27,2%; motor — на 21,8% и truck — на 20,2%).

Использование метода консолидации моделей существенно облегчает применение нейронных сетей при решении задачи классификации изображений. При таком подходе происходит унификация процесса проектирования архитектуры модели, подбора параметров и проведения экспериментов [14]. Дополнительный уровень абстракции позволяет сосредоточиться на решаемой задаче, а не на реализации нейросетевой модели с помощью конкретного стека технологий.

Литература

1. *Zhang M., Xie J., Li Y., Wu D.* Color histogram correction for panoramic images // 7th Conference (International) on Virtual Systems and Multimedia Proceedings. — IEEE, 2001. P. 328–331. doi: 10.1109/VSMM.2001.969687.
2. *Mohammed A. B. E. A., Ming F., Zhengwei F.* Color balance for panoramic images // Modern Applied Science, 2015. Vol. 9. Iss. 13. P. 140–147. doi: 10.5539/mas.v9n13p140.
3. *Пахирка А. И., Зотин А. Г., Буряченко В. В.* Создание панорамных аэрофото-снимков с использованием квадрокоптера // Программные продукты и системы, 2018. Т. 31. № 2. С. 362–367.
4. *Архипов П. О., Цуканов М. В.* Информационная модель технологии коррекции яркости и цвета при создании панорамных изображений // Системы высокой доступности, 2020. Т. 16. № 3. С. 46–51. doi: 10.18127/j20729472-202003-04.
5. *Архипов П. О., Цуканов М. В.* Алгоритмическая модель обнаружения аномалий на разновременных панорамах // Системы высокой доступности, 2021. Т. 17. № 2. С. 5–10. doi: 10.18127/j20729472-202102-01.
6. *Архипов П. О., Трофименков А. К., Цуканов М. В., Носова Н. Ю.* Исследование методов детектирования ключевых точек при создании панорамных изображений // Системы и средства информатики, 2022. Т. 32. № 2. С. 92–104. doi: 10.14357/08696527220209.
7. *Arkhipov P. O., Philippskih S. L.* Building an ensemble of convolutional neural networks for classifying panoramic images // Pattern Recognition Image Analysis, 2022. Vol. 32. No. 3. P. 511–514. doi: 10.1134/S1054661822030051.
8. *Krizhevsky A., Sutskever I., Hinton G.* ImageNet classification with deep convolutional neural networks // Commun. ACM, 2017. Vol. 60. Iss. 6. P. 84–90. doi: 10.1145/3065386.
9. *Ferlitsch A.* Deep learning patterns and practices. — Manning Publications Co., 2021. 472 p.
10. *Gao H., Liu Zh., van der Maaten L., Weinberger K. Q.* Densely connected convolutional networks // Cornell University, 2016. 9 p. arXiv:1608.06993 [cs.CV].
11. *Simonyan K., Zisserman A.* Very deep convolutional networks for large-scale image recognition // Cornell University, 2014. 14 p. arXiv:1409.1556 [cs.CV].
12. *Howard A., Zhu M., Chen Bo, et al.* MobileNets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications // Cornell University, 2017. 9 p. arXiv:1704.04861 [cs.CV].

13. *Chollet F.* Deep learning with Python. — 2nd ed. — Shelter Island, NY, USA: Manning Publications Co., 2021. 504 p.
14. *Филиппских С. Л.* Классификация извлекаемых из панорам изображений нейронной сетью с модулем сдвигания-возбуждения // Интеллектуализация обработки информации: Тезисы докл. 14-й Междунар. конф. — М.: Российская академия наук, 2022. С. 204–209.
15. *He K., Zhang X., Ren Sh., Sun J.* Deep residual learning for image recognition // Cornell University, 2015. 12 p. arXiv:1512.03385 [cs.CV].
16. *Zhu P., Wen L., Du D., et al.* Detection and tracking meet drones challenge // Cornell University, 2020. 20 p. arXiv: 2001.06303 [cs.CV].
17. *Kingma D., Adam J. B.* A method for stochastic optimization // Cornell University, 2014. 15 p. arXiv:1412.6980 [cs.LG].

Поступила в редакцию 17.01.23

RECOGNITION OF ANOMALIES ON MULTITIME PANORAMAS USING THE NEURAL NETWORK METHOD OF MODEL AMALGAMATION

P. O. Arkhipov and S. L. Philippskih

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

Abstract: A method for classifying anomalies on multitime panoramas using the neural network method of model amalgamation is described. The main idea of this method is to break the deep learning model into its component parts. Then, existing design patterns are selected and adapted for each part. To solve the problem of classifying anomalies, a composite template was developed and a new neural network model was designed. An improvement of the design pattern of neural networks ConvNet based on the technology of using “dense convolutional blocks” has been made. To classify anomalies, a new template has been developed — SOTA-ConvNet which includes a ready-made neural network model architecture suitable for working with panoramic images. The neural network model built on the basis of the SOTA-ConvNet template showed advantages over the neural network based on ConvNet: the accuracy of image classification increased and the number of trainable parameters decreased by an order of magnitude.

Keywords: panoramic image; model amalgamation; multiclass classification; design pattern; convolutional neural network; data set

DOI: 10.14357/08696527230202

References

1. Zhang, M., J. Xie, Y. Li, and D. Wu. 2001. Color histogram correction for panoramic images. *7th Conference (International) on Virtual Systems and Multimedia Proceedings*. IEEE. 328–331. doi: 10.1109/VSM.2001.969687.
2. Mohammed, A. B. E. A., F. Ming, and F. Zhengwei. 2015. Color balance for panoramic images. *Modern Applied Science* 9(13):140–147. doi: 10.5539/mas.v9n13p140.
3. Pakhirka, A. I., A. G. Zotin, and V. V. Buryachenko. 2018. Sozdanie panoramnykh aerofotosnimkov s ispol'zovaniem kvadroptera [Creating panoramic aerial images from quadcopter]. *Programmnye produkty i sistemy* [Software Systems] 31(2):362–367. doi: 10.15827/0236-235X.031.2.362-367.
4. Arkhipov, P. O., and M. V. Tsukanov. 2020. Informatsionnaya model' tekhnologii korrektsii yarkosti i tsveta pri sozdanii panoramnykh izobrazheniy [Information model of brightness and color correction technology for creating panoramic images]. *Sistemy vysokoy dostupnosti* [Highly Available Systems] 16(3):46–51. doi: 10.18127/j20729472-202003-04.
5. Arkhipov, P. O., and M. V. Tsukanov. 2021. Algoritmicheskaya model' obnaruzheniya anomalii na raznovremennykh panoramakh [Algorithmic model of anomaly detection on different panoramas]. *Sistemy vysokoy dostupnosti* [Highly Available Systems] 17(2):5–10. doi: 10.18127/j20729472-202102-01.
6. Arkhipov, P. O., A. K. Trofimenkov, M. V. Tsukanov, and N. Yu. Nosova. 2022. Issledovanie metodov detektirovaniya klyuchevykh toчек pri sozdanii panoramnykh izobrazheniy [Study of methods for detecting key points when creating panoramic images]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 32(2):92–104. doi: 10.14357/08696527220209.
7. Arkhipov, P. O., and S. L. Philippikh. 2022. Building an ensemble of convolutional neural networks for classifying panoramic images. *Pattern Recognition Image Analysis* 32(3):511–514. doi: 10.1134/S1054661822030051.
8. Krizhevsky, A., I. Sutskever, and G. Hinton. 2017. ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Commun. ACM* 60:84–90. doi:10.1145/3065386.
9. Ferlitsch, A. 2021. *Deep learning patterns and practices*. Manning Publications Co. 472 p.
10. Gao, H., Zh. Liu, L. van der Maaten, and K. Q. Weinberger. 2016. Densely connected convolutional networks. *arXiv.org*. 9 p. Available at: <https://arxiv.org/abs/1608.06993> (accessed April 8, 2023).
11. Simonyan, K., and A. Zisserman. 2014. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv.org*. 14 p. Available at: <https://arxiv.org/abs/1409.1556> (accessed April 8, 2023).
12. Howard, A., M. Zhu, Bo Chen, *et al.* 2017. MobileNets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. *arXiv.org*. 9 p. Available at: <https://arxiv.org/abs/1704.04861> (accessed April 8, 2023).
13. Chollet, F. 2021. *Deep learning with Python*. 2nd ed. Shelter Island, NY: Manning Publications Co. 504 p.
14. Philippikh, S. L. 2022. Klassifikatsiya izvlekaemykh iz panoram izobrazheniy neyronnoy set'yu s modulem sdavlivaniya-vozbuzhdeniya [Classification of images extracted from panoramas using a neural network with a squeeze-excitation module]. *Intellectual-*

ization of Information Processing: 14th Conference (International) Abstracts. Moscow: Russian Academy of Sciences. 204–209.

15. He, K., X. Zhang, Sh. Ren, and J. Sun. 2015. Deep residual learning for image recognition. *arXiv.org*. 12 p. Available at: <https://arxiv.org/abs/1512.03385> (accessed April 8, 2023).
16. Zhu, P., L. Wen, D. Du, *et al.* 2020. Detection and tracking meet drones challenge. *arXiv.org*. 20 p. Available at: <https://arxiv.org/abs/2001.06303> (accessed April 8, 2023).
17. Kingma, D., and J. B. Adam. 2014. A method for stochastic optimization. *arXiv.org*. 15 p. Available at: <https://arxiv.org/abs/1412.6980> (accessed April 8, 2023).

Received January 17, 2023

Contributors

Arkhipov Pavel O. (b. 1979)— Candidate of Science (PhD) in technology, director, Orel Branch of the Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 137 Moskovskoe Shosse, Orel 302025, Russian Federation; arpaul@mail.ru

Philippskih Sergey L. (b. 1987)— junior scientist, Orel Branch of the Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 137 Moskovskoe Shosse, Orel 302025, Russian Federation; philippsl@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ БИСПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА В ОБНАРУЖЕНИИ ДЕЕРФАКЕ-ИЗОБРАЖЕНИЙ

*С. П. Никитенкова*¹

Аннотация: По мере того как инструменты синтеза deepfake-изображений становятся все более мощными и доступными, растет потребность в разработке методов обнаружения сгенерированного контента. В работе исследуются перспективы применения биспектрального анализа как инструмента обнаружения deepfake-изображений, сгенерированных нейросетями GAN (generative adversarial network). Показано, что спектральные корреляции более высокого порядка, выявленные с помощью биспектрального анализа, в меньшей мере присутствуют в реальных изображениях по сравнению с изображениями, сгенерированными с помощью GAN. Эти корреляции, вероятно, отражают фундаментальные свойства процесса синтеза изображений. Причиной могут быть нелинейности, вносимые при синтезе изображений, а также недостаточная обработка сигналов, вызывающая наложение спектров в сети генератора нейросети GAN. Была проведена процедура кластеризации для обнаружения сгенерированных изображений. Были получены обнадеживающие результаты: сгенерированные изображения определялись с точностью до 80%.

Ключевые слова: AI-синтезированное изображение; биспектральный анализ; нелинейность; алгоритмы машинного обучения

DOI: 10.14357/08696527230203

1 Введение

Благодаря современным технологиям возможность создания высокореалистичных визуальных подделок (deepfake) доступна каждому, что приводит к серьезным угрозам с точки зрения дезинформации и достоверности данных. Это относится, в частности, к искусственно сгенерированным изображениям. Проведенные исследования фотореализма сгенерированных лиц показали: нейросети способны создавать лица, неотличимые от реальных и, главное, вызывающие симпатию и большее доверие, чем настоящие лица [1].

Deepfake-изображения обычно создаются с помощью методов, основанных на так называемых генеративно-сопоставительных сетях, сокращенно GAN [2]. Первый вариант технологии StyleGAN был опубликован в 2019 г. Сгенерированные StyleGAN лица содержали очевидные артефакты, включая асимметрию лица. Были обнаружены артефакты границ формы зрачка, несовместимые цвета радужной оболочки [3]. Детектирование подобных артефактов возможно с помощью алгоритма [4]. В 2020 г. была предложена технология StyleGAN2, позволявшая добиться значительного улучшения качества изображений [5]. На основе

¹Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, nikitenkova@rf.unn.ru

StyleGAN2 появились онлайн-сервисы, например `thispersondoesnotexist`, а также многочисленные генераторы Text-to-Image, позволяющие создавать фотореалистичные изображения, соответствующие заданным описаниям.

В 2022 г. встроенная поддержка нейросети StyleGAN2 появилась в официальном релизе популярного программного продукта Adobe Photoshop.

Таким образом, в настоящее время StyleGAN2 — одна из самых доступных технологий генерации изображений.

Методы, основанные на анализе частотной области, широко применяются в задачах обнаружения сгенерированных изображений. Как оказалось, изображения, сгенерированные GAN, имеют аномалии в частотном спектре. Аномалии можно разделить на два типа: неправильные спектральные картины и несоответствие в их распределении мощности. Было установлено, что настоящие и сгенерированные изображения ведут себя по-разному в спектрах на высоких частотах: для любой модели GAN изображения демонстрируют неизменное приращение высокочастотных компонент [6]. Был обнаружен артефакт повышающей дискретизации транспонированной свертки GAN, названный «артефактом шахматной доски» (checkerboard artifact) [7].

На основе анализа обнаруженных частотных артефактов появилось множество детекторов изображений, сгенерированных StyleGAN2, однако в последнее время их надежность ставится под сомнение. В ряде работ, например в [8], показано, что злоумышленник может удалить показательные артефакты непосредственно из спектра сгенерированного изображения, начиная от фильтрации высоких частот и заканчивая более тонкой очисткой частотных пиков.

Анализ спектров высшего порядка, в частности биспектра, позволил бы узнать о сгенерированном изображении гораздо больше, чем применение традиционного спектрального анализа. Биспектр был успешно применен для обнаружения такой распространенной формы фотографических манипуляций, как цифровое объединение (фотомонтаж) двух или более изображений, а также для оценки качества изображения [9, 10]. Однако систематический анализ спектров высшего порядка сгенерированных изображений до сих пор отсутствует.

2 Биспектральный анализ

Для дискретного двумерного сигнала $f(x, y)$, представляющего отдельные цветовые каналы изображения размером $M \times N$, дискретное преобразование Фурье $F(u, v)$ определяется как

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \exp \left(-2\pi i \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right) \right),$$

где x и y — позиция пикселя; $f(x, y)$ — значение пикселя выбранного канала изображения; u и v — пространственная частота. Спектр изображения показывает, насколько быстро/медленно изменяются контраст/цвет/значения пикселей в пространственных измерениях. В фурье-представлении изображений спект-

ральная амплитуда и фаза играют разные роли. Амплитуда представляет собой интенсивность различных частот в изображении и содержит большую часть информации о геометрической структуре изображения в пространственной области. Фаза представляет расположение этих особенностей, что помогает человеческому глазу лучше понять изображение.

При генерации изображений нейросетями GAN используются нелинейные функции активации. Нелинейность приводит к появлению в спектре высоко-частотных компонент. Биспектральный анализ служит эффективным инструментом, идентифицирующим нелинейность, а также фазовые взаимосвязи между различными частотными компонентами изображений [11]. Разумно предположить, что при генерации изображения могут появиться корреляции высших порядков (по величине и фазе). На этом основании можно ожидать изменение характерных значений биспектра для сгенерированных изображений по сравнению с реальными.

Биспектр одномерного сигнала $x(t)$ представляет собой преобразование Фурье от его тройной корреляции:

$$B(\omega_1, \omega_2) = \mathbb{E} \{ F(\omega_1) F(\omega_2) F^*(\omega_1 + \omega_2) \},$$

где $\mathbb{E} \{ \}$ — функция математического ожидания; $F(\omega)$ — фурье-преобразование сигнала $x(t)$; $F^*(\omega)$ — его сопряжение на частоте ω [12]. Биспектр — величина комплексная, а значит, его можно представить в виде:

$$B(\omega_1, \omega_2) = |B(\omega_1, \omega_2)| e^{i\psi(B(\omega_1, \omega_2))}.$$

С точки зрения интерпретации целесообразно применять нормализованное представление биспектра — бикогерентность:

$$b(\omega_1, \omega_2) = \frac{B(\omega_1, \omega_2)}{\sqrt{\mathbb{E} \{ |F(\omega_1) F(\omega_2)|^2 \} \mathbb{E} \{ |F(\omega_1 + \omega_2)|^2 \}}}. \quad (1)$$

Абсолютное значение бикогерентности находится в пределах от 0 до 1. Если между двумя частотами нет фазовой связи, значение бикогерентности будет нулевым. Если степень фазовой связи высока, то значение бикогерентности будет близко к единице.

Изображение можно интерпретировать как двумерный сигнал, а следовательно, изображение будет иметь четырехмерный биспектр:

$$B(u_1, v_1; u_2, v_2) = F(u_1, v_1) F(u_2, v_2) F^*(u_1 + u_2, v_1 + v_2).$$

Аналогично уравнению (1) для изображения может быть введена бикогерентность. Бикогерентность инвариантна к линейному преобразованию, что позволяет ее использовать для анализа широкого диапазона изображений, в том числе в условиях размытия или масштабирования.

В работе [10] было показано, что фазовые корреляции между пространственными частотами в строках или столбцах одномерного сканирования области изображения аналогичны рассчитанным для области двумерного изображения. Поэтому во избежание сложности вычисления полной четырехмерной бикогерентности изображения, анализ может быть ограничен строками одномерного горизонтального сканирования и столбцами одномерного вертикального сканирования изображения. Чтобы уменьшить дисперсию оценки, одномерную бикогерентность следует вычислять путем усреднения по K перекрывающимся сегментам конечной длины:

$$\hat{b}(u_1, u_2) = \frac{(1/K) \sum_{k=1}^K F_k(u_1) F_k(u_2) F_k^*(u_1 + u_2)}{\sqrt{\left((1/K) \sum_{k=1}^K |F_k(u_1) F(u_2)|^2 \right) \left((1/K) \sum_{k=1}^K |F_k(u_1 + u_2)|^2 \right)}}. \quad (2)$$

Бикогерентность области изображения задается как среднее значение бикогерентности горизонтальных и вертикальных строк развертки изображения:

$$\hat{b} = \sqrt{\left(\frac{1}{N_h} \sum_{k=1}^{N_h} b_k^h \right) + \left(\frac{1}{N_v} \sum_{k=1}^{N_v} b_k^v \right)},$$

где N_h и N_v — число горизонтальных и вертикальных строк развертки области изображения; b_k^h и b_k^v — средние бикогерентности k -й горизонтальной и k -й вертикальной линий, вычисленные по формуле (2).

3 Вычислительный эксперимент

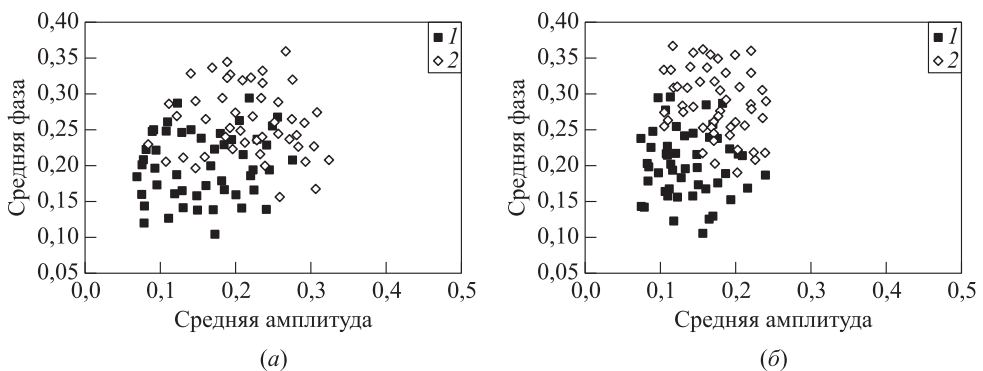
Чтобы проверить применимость биспектральной статистики для обнаружения сгенерированных изображений, были сформированы два датасета, каждый из 100 изображений. Первый датасет состоит из 50 изображений реальных лиц в разрешении 1024×1024 пикселя из набора данных Flickr-Faces-HQ Dataset (FFHQ) и 50 изображений из 100 000 сгенерированных StyleGAN2 в том же разрешении, предоставленных создателем технологии StyleGAN2 компанией NVIDIA. Изображения доступны для загрузки с ресурсов [13, 14]. Второй датасет состоит из 50 изображений в жанре аниме в разрешении 512×512 пикселей из известного набора danbooru2019 и 50 сгенерированных StyleGAN2 изображений того же жанра в том же разрешении из парного публичного датасета. Изображения доступны для загрузки с ресурсов [15, 16]. Назовем первый датасет FFHQ-StyleGAN2, второй — danbooru-StyleGAN2. Каждое исследуемое изображение было разбито на блоки размером 128×128 пикселей. Бикогерентность вычислялась отдельно для горизонтальных и вертикальных срезов, каждый из

которых представлял собой одномерный сигнал длиной 128 пикселей. Аналогичная вычислительная процедура использовалась, например, в [9, 10]. Для каждого среза бикогерентность оценивалась по трем перекрывающимся сегментам длиной 64 пикселя, где перекрытие составляло 32 пикселя. Чтобы уменьшить утечку частоты и получить лучшее разрешение по частоте при вычислении дискретного преобразования Фурье, сегменты умножались на окно Ханнинга [17].

Полученная выборка вычисленных значений бикогерентности каждого изображения характеризовалась первыми четырьмя статистическими моментами: средним значением, дисперсией, асимметрией и эксцессом. Таким образом, каждое изображение характеризовалось 8-мерным вектором признаков.

Чтобы проверить, могут ли амплитуда и фаза бикогерентности служить параметрами, по которым можно различить реальные и сгенерированные изображения, нормализованные средние значения амплитуды и фазы были визуализированы на диаграмме рассеяния (см. рисунок). Рисунок показывает, что реальные и сгенерированные изображения могут быть разделены, хотя в центральной части графика все же есть явные перекрытия. Таким образом, спектральные корреляции более высокого порядка, выявленные с помощью биспектрального анализа, в меньшей мере присутствуют в реальных изображениях по сравнению с изображениями, сгенерированными с помощью GAN. Эти корреляции, вероятно, отражают фундаментальные свойства процесса синтеза. Причиной могут быть нелинейности, вносимые при синтезе изображений, а также недостаточная обработка сигналов, вызывающая наложение спектров в сети GAN.

На основании полученных данных была проведена процедура кластеризации для обнаружения сгенерированных изображений с помощью алгоритма KMeans и библиотеки Scikit-learn [18]. Результаты этой процедуры можно увидеть в таблице. Были получены обнадеживающие результаты: сгенерированные изоб-



Двумерный срез (амплитуда и фаза) восьмимерной статистической характеристики бикогерентности реальных (1) и сгенерированных (2) изображений для датасетов FFHQ-StyleGAN2 (а) и danbooru-StyleGAN2 (б) соответственно

Метрики качества классификации датасетов

Датасет	Precision	Recall	F1-Score	Accuracy
FFHQ-StyleGAN2	0,73	0,86	0,79	0,77
danbooru-StyleGAN2	0,86	0,84	0,85	0,85

ражения определялись с точностью до 80% по метрике F1-score [19]. Значения метрик классификации для второго датасета выше, чем для первого. Это можно объяснить меньшим размером изображений, входящих в датасет.

4 Заключение

Социальная и биометрическая безопасность требует создания защитного механизма от deepfake-подделок. В данном исследовании предлагается метод обнаружения поддельных изображений, синтезированных нейросетью StyleGAN2, на основе биспектрального анализа. Эффективность предложенного метода апробировалась на двух различных датасетах. Экспериментальные результаты показали, что спектральные корреляции более высокого порядка, выявленные с помощью биспектрального анализа, в меньшей мере присутствуют в реальных изображениях по сравнению с изображениями, сгенерированными с помощью GAN.

Технологии создания deepfake развиваются быстрее, чем технологии их обнаружения. В конце 2021 г. компанией NVIDIA была разработана архитектура StyleGAN3, главной целью которой стала адаптация технологии StyleGAN для ее применения в анимации и видео. При динамической визуализации изображений, сгенерированных с помощью StyleGAN2, могло наблюдаться рассогласование мелких деталей, получившее название «эффект прилипания текстур» (texture sticking) [20]. Однако существенные изменения, внесенные в архитектуру StyleGAN3, вызывают множество вопросов и новых вызовов, например возможность точно инвертировать и редактировать реальные изображения [21]. Применение биспектрального анализа к изображениям, сгенерированным StyleGAN3, может стать предметом самостоятельного исследования.

Литература

1. *Nightingale S., Farid H.* Synthetic faces are more trustworthy than real faces // *J. Vision*, 2022. Vol. 22. No. 14. Art. 3068. doi: 10.1167/jov.22.14.3068.
2. *Goodfellow I., Pouget-Abadie J., Mirza M., et al.* Generative adversarial networks // *Commun. ACM*, 2020. Vol. 63. No. 11. P. 139–144. doi: 10.1145/3422622.
3. *Matern F., Riess C., Stamminger M.* Exploiting visual artifacts to expose deepfakes and face manipulations // *Winter Applications of Computer Vision Workshops.* — IEEE, 2019. P. 83–92. doi: 10.1109/WACVW.2019.00020.
4. *Павельева Е. А.* Поиск соответствий между ключевыми точками изображений радужных оболочек глаз с помощью метода проекционной фазовой корреляции //

- Системы и средства информатики, 2013. Т. 23. № 2. С. 74–88. doi: 10.14357/08696527130206.
5. Karras T., Laine S., Aittala M., Hellsten J., Lehtinen J., Aila T. Analyzing and improving the image quality of StyleGAN // IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. — IEEE, 2020. P. 8110–8119.
 6. Durall R., Keuper M., Pfrendt F.-J., Keuper J. Unmasking DeepFakes with simple features // Cornell University, 2019. 8 p. arXiv:1911.00686 [cs.LG].
 7. Frank J., Eisenhofer T., Schönherr L., Fischer A., Kolossa D., Holz T. Leveraging frequency analysis for deep fake image recognition // 37th Conference (International) on Machine Learning Proceedings, 2020. Vol. 119. P. 3247–3258.
 8. Dong C., Kumar A., Liu E. Think twice before detecting GAN-generated fake images from their spectral domain imprints // IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. — IEEE, 2022. P. 7865–7874.
 9. Ng T. T., Chang S. F., Sun Q. Blind detection of photomontage using higher order statistics // Symposium (International) on Circuits and Systems. — IEEE, 2004. Vol. 5. Art. 1329901. doi: 10.1109/ISCAS.2004.1329901.
 10. Wen Z., Fraser D., Lambert A. Bicoherence: A new lucky region technique in anisoplanatic image restoration // Appl. Optics, 2009. Vol. 48. No. 32. P. 6111–6119.
 11. Hinich M. J., Wolinsky M. A. A test for aliasing using bispectral analysis // J. Am. Stat. Assoc., 1988. Vol. 83. No. 402. P. 499–502. doi: 10.1080/01621459.1988.10478623.
 12. Mendel J. M. Tutorial on higher-order statistics (spectra) in signal processing and system theory: Theoretical results and some applications // P. IEEE, 1991. Vol. 79. doi: 10.1109/5.75086. No. 3. P. 278–305.
 13. GitHub — NVlabs/FFHQ-dataset. <https://github.com/NVLabs/ffhq-dataset>.
 14. GitHub — NVlabs/StyleGAN2-dataset. <https://github.com/NVLabs/stylegan2>.
 15. High-resolution anime face dataset (512 × 512). <https://www.kaggle.com/datasets/subinium/highresolution-anime-face-dataset-512x512>.
 16. GitHub — justinpinkney/awesome-pretrained-StyleGAN2-Anime-portraits-dataset. <https://github.com/justinpinkney/awesome-pretrained-stylegan2#Anime-portraits>.
 17. Silvagni D., Djerroud C., Réveillé T., Gravier E. Bispectral analysis: Comparison of two windowing functions // J. Phys. Conf. Ser., 2018. Vol. 982. No. 1. Art. 012007. P. 1–6. doi: 10.1088/1742-6596/982/1/012007.
 18. Scikit-learn: Machine learning in Python. <http://scikit-learn.org>.
 19. Ng A. Machine learning yearning: Technical strategy for AI engineers, in the era of Deep Learning. — Self-publishing, 2018. <https://www.mlyearning.org>.
 20. Karras T., Aittala M., Laine S., et al. Alias-free generative adversarial networks // Adv. Neur. In., 2021. Vol. 34. P. 852–863.
 21. Alaluf Y., Patashnik O., Wu Z., Zamir A., Shechtman E., Lischinski D., Cohen-Or D. Third time’s the charm? Image and video editing with StyleGAN3 // Computer vision / Eds. L. Karlinsky, T. Michaeli, K. Nishino. — Lecture notes in computer science ser. — Cham: Springer, 2023. Vol. 13802. P. 204–220. doi: 10.1007/978-3-031-25063-7_13.

Поступила в редакцию 15.01.23

DEEFAKE IMAGE DETECTION USING BISPECTRAL ANALYSIS

S. P. Nikitenkova

N. I. Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, 23 Prospekt Gagarina, Nizhny Novgorod 603022, Russian Federation

Abstract: As deep-fake image synthesis tools become more powerful and available, there is a growing need to develop methods for detecting generated content. The main goal of the work is to test the application of bispectral analysis as a tool for detecting images generated by artificial intelligence (AI). It is shown that higher-order spectral correlations detected by spectral analysis are less present in natural images compared to the images generated using generative-adversarial neural networks GAN (generative adversarial network). These correlations are probably the result of fundamental properties of the image generation process. The clustering procedure has shown encouraging results: it determines the generated images with an accuracy of 80%.

Keywords: AI-synthesized image; polyspectral analysis; nonlinearity; machine learning algorithms

DOI: 10.14357/08696527230203

References

1. Nightingale, S., and H. Farid. 2022. Synthetic faces are more trustworthy than real faces. *J. Vision* 22(14):3068. doi: 10.1167/jov.22.14.3068.
2. Goodfellow, I., J. Pouget-Abadie, M. Mirza, *et al.* 2020. Generative adversarial networks. *Commun. ACM* 63(11):139–144. doi: 10.1145/3422622.
3. Matern, F., C. Riess, and M. Stamminger. 2019. Exploiting visual artifacts to expose deepfakes and face manipulations. *Winter Applications of Computer Vision Workshops*. IEEE. 83–92. doi: 10.1109/WACVW.2019.00020.
4. Pavelyeva, E. A. 2013. Poisk sootvetstviy mezhdru klyuchevymi tochkami izobrazheniy raduzhnykh obolochek glaz s pomoshch'yu metoda proektsionnoy fazovoy korrelyatsii [The search for matches between the iris key points using Hermite projection phase-only correlation method]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 23(2):74–88. doi: 10.14357/08696527130206.
5. Karras, T., S. Laine, M. Aittala, J. Hellsten, J. Lehtinen, and T. Aila. 2020. Analyzing and improving the image quality of StyleGAN. *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. IEEE. 8110–8119.
6. Durall, R., M. Keuper, F.-J. Pfrendt, and J. Keuper. 2019. Unmasking deepfakes with simple features. *arXiv.org*. 8 p. Available at: <https://arxiv.org/abs/1911.00686> (accessed April 17, 2023).
7. Frank, J., T. Eisenhofer, L. Schönherr, A. Fischer, D. Kolossa, and T. Holz. 2020. Leveraging frequency analysis for deep fake image recognition. *37th Conference (International) on Machine Learning Proceedings*. 119:3247–3258.

8. Dong, C., A. Kumar, and E. Liu. 2022. Think twice before detecting GAN-generated fake images from their spectral domain imprints. *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. IEEE. 7865–7874.
9. Ng, T. T., S. F. Chang, and Q. Sun. 2004. Blind detection of photomontage using higher order statistics. *Symposium (International) on Circuits and Systems*. IEEE. 5:1329901. doi: 10.1109/ISCAS.2004.1329901.
10. Wen, Z., D. Fraser, and A. Lambert. 2009. Bicoherence: A new lucky region technique in anisoplanatic image restoration. *Appl. Optics* 48(32):6111–6119.
11. Hinich, M. J., and M. A. Wolinsky. 1988. A test for aliasing using bispectral analysis. *J. Am. Stat. Assoc.* 83(402):499–502. doi: 10.1080/01621459.1988.10478623.
12. Mendel, J. M. 1991. Tutorial on higher-order statistics (spectra) in signal processing and system theory: Theoretical results and some applications. *P. IEEE* 79(3):278–305. doi: 10.1109/5.75086.
13. NVlabs/FFHQ-dataset. Available at: <https://github.com/NVlabs/ffhq-dataset> (accessed April 17, 2023).
14. NVlabs/StyleGAN2-dataset. Available at: <https://github.com/NVlabs/stylegan2> (accessed April 17, 2023).
15. High-resolution anime face dataset (512×512). Available at: <https://www.kaggle.com/datasets/subinium/highresolution-anime-face-dataset-512x512> (accessed April 17, 2023).
16. GitHub — justinpinkney/awesome-pretrained-StyleGAN2-Anime-portraits-dataset. Available at: <https://github.com/justinpinkney/awesome-pretrained-stylegan2#Anime-portraits> (accessed April 17, 2023).
17. Silvagni, D., C. Djerroud, T. Réveillé, and E. Gravier. 2018. Bispectral analysis: Comparison of two windowing functions. *J. Phys. Conf. Ser.* 982(1):012007. doi: 10.1088/1742-6596/982/1/012007.
18. Scikit-learn: Machine learning in Python. Available at: <http://scikit-learn.org> (accessed April 17, 2023).
19. Ng, A. 2018. *Machine learning yearning: Technical strategy for AI engineers, in the era of deep learning*. Self-publishing. 118 p.
20. Karras, T., M. Aittala, S. Laine, et al. 2021. Alias-free generative adversarial networks. *Adv. Neur. In.* 34:852–863.
21. Alaluf, Y., O. Patashnik, Z. Wu, A. Zamir, E. Shechtman, D. Lischinski, and D. Cohen-Or. 2023. Third time’s the charm? Image and video editing with StyleGAN3. *Computer vision*. Eds. L. Karlinsky, T. Michaeli, and K. Nishino. Lecture notes in computer science ser. Cham: Springer. 13802:204–220. doi: 10.1007/978-3-031-25063-7_13.

Received January 15, 2023

Contributor

Nikitenkova Svetlana P. (b. 1968) — Candidate of Science (PhD) in technology, associate professor, Department of Information Systems Security, N. I. Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, 23 Prospekt Gagarina, Nizhny Novgorod 603022, Russia Federation; nikitenkova@rf.unn.ru

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДЛЯ РАБОТЫ С ГЕОДАННЫМИ В ПЕРСПЕКТИВНЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

*Д. А. Никишин*¹

Аннотация: Рассматриваются направления совершенствования методологической базы для перспективных геоинформационных систем (ГИС). Основным предметом рассмотрения выбраны технологии, связанные с обеспечением взаимодействия и сотрудничества в распределенных ГИС, комплексной обработкой данных, получаемых различными средствами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), функционированием сетей стационарных и/или подвижных геосенсоров. Делается вывод о целесообразности формирования обновленного свода конвенциональных географических знаний (теорий и «практик», закрепленных в виде стандартов), учитывающего современное развитие моделей, методов и технологий работы с геоанализом, который может стать основой для решения востребованных видов задач в перспективных ГИС.

Ключевые слова: геоинформационные системы; геоинформационная инженерия; моделирование географических явлений; геосенсорные сети

DOI: 10.14357/08696527230204

1 Введение

Цель данной работы — выявление и рассмотрение новых важных аспектов работы с географическими данными (геоданными), которые необходимо будет учитывать при разработке перспективных географических информационных систем. К таким аспектам можно отнести: совершенствование технологий, возникновение новых задач, а также возможность полноценного внедрения в ГИС ряда важных парадигм.

К новым технологиям можно отнести появление ряда технических средств и связанных с ними моделей, методов и технологий, обусловленных развитием распределенной обработки геопространственной информации, средств ДЗЗ, мобильных навигационных устройств, сетей стационарных и/или подвижных сенсоров (датчиков) и некоторых других. Этот аспект стал основным предметом рассмотрения данной статьи.

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

Кроме того, остается актуальной необходимость повышения точности и надежности решения задач, а также возникновение новых видов задач, например обеспечение работы автономных транспортных средств¹.

В современных условиях также возникли реальные возможности для полноценного внедрения ряда парадигм [2], таких как: топологичность модели местности (а в общем виде — обеспечение в модели пространственно-логической связанности), целостная система локальных (сегментных) геоонтологий [3], множественные представления геообъектов и местности в целом (включая аспекты генерализации, контекстной вариантности, альтернативности) [4], темпоральное (в том числе пространственно-временное) моделирование² [5], трехмерное моделирование.

Также нужно отметить актуальную задачу создания надежных систем для автоматического географического вывода, особенно в связи с появлением новых типов датчиков [2].

Результатом должно стать создание системы эффективных геомоделей (баз геоданных, БГД) и методологий, обеспечивающих представленные выше аспекты.

2 Географическая информационная инженерия в XXI веке

Идея ГИС исходит из работы Р. Ф. Томлинсона 1973 г. [6], а термин «геоинформатика» возник в начале 1990-х гг. [7], обозначив предметную область обработки пространственной информации. Научные результаты, полученные в этой области, помогли создать нынешнюю индустрию ГИС. В настоящее время геоинформационные приложения используются в качестве корпоративных и научных исследовательских инструментов для решения различных задач, связанных с анализом геопространственных данных.

Геоинформационную инженерию можно охарактеризовать как «дисциплину систематического построения ГИС и связанных с ними технологий, основанную на научных принципах, а также адаптацию существующих технологий в соответствии с конкретными текущими (актуальными) потребностями пользователей и общества» [8].

Большинство ГИС-решений (технологий и продуктов) могут использовать схожие принципы и шаблоны проектирования, поэтому ГИС-инженеры обычно не занимаются разработкой своих продуктов и технологий «с нуля», а используют опыт, накопленный предшественниками. Так, разработчик геоинформационных

¹Согласно определению OGC (Open Geospatial Consortium) в [1], автономные транспортные средства — это мобильные объекты, которые перемещаются по поверхности земли или сквозь твердую землю (проходческие машины), по водной поверхности или в воде, в воздухе или в космическом пространстве без оперативного управления со стороны независимого бортового оператора.

²Эта парадигма особенно важна в контексте создания динамических систем организации топографического знания в перспективных ГИС.

инструментов обычно сначала определяет потребности и ограничения своего приложения, а затем выбирает подходящие методы и модели из множества уже известных и апробированных, образующих в совокупности некую теоретическую базу (хотя может создать и нечто новое, в особенности для новых или нетривиальных задач).

В частности, в среде правительственных, коммерческих, научно-исследовательских и других организаций получили широкое, международное распространение открытые стандарты, разрабатываемые с 1994 г. «Открытым геопространственным консорциумом» (OGC). Совокупность этих стандартов, представленная на рис. 1, охватывает все основные аспекты гео моделирования, в том числе модели данных и принципы их кодирования, получение геоданных (датчики и методы сбора данных), прикладные функции, сервисы и интерфейсы и др., с целью решения проблем совместного использования пространственных данных и взаимодействия их пользователей (например, как в [10]).

Таким образом, можно отметить, что в основе ГИС-инжиниринга лежит некий свод знаний (база знаний), состоящий из теоретической базы и накопленного опыта использования («хороших» или «плохих» практик для тех или иных задач), который помогает разрабатывать и/или использовать ГИС-продукты и ГИС-технологии.

Так, в работе [8] предлагается такой свод, применяемый в настоящее время и использующий парадигмы традиционной картографии, условно обозначить как «ГИС-20» (ГИС XX в.). Эта научная основа, исторически основанная на применении двумерного моделирования ситуации (геообъектов и/или местности в целом), в том числе в виде стандартов OGC и др., была относительно простой и позволила появиться целому поколению ГИС-технологий.

Однако в современных условиях текущий свод ГИС-20 уже не может полностью обеспечить насущные потребности по предоставлению готовых конвенциональных решений для тривиальных задач. Современные реалии предполагают широкое применение новых технологий и технических средств, необходимых для решения новых задач, а также полноценное внедрение в ГИС ряда важных парадигм, упомянутых выше.

3 Специфика новых ГИС-технологий

Эти технологии обусловлены появлением ряда технических средств и связанных с ними моделей, методов и технологий. Рассмотрим появление и специфику этих технологий подробнее.

Технологии работы с геопространственной информацией. В 1980–1990-х гг. ГИС представляла собой автономную компьютерную систему, предоставлявшую методы ввода, хранения, обработки и отображения геопространственных моделей (геоданных). В 2000-х гг. технологии ГИС были распространены на корпоративные многопользовательские системы с общей базой пространственных данных. Широкое распространение интернет-технологий

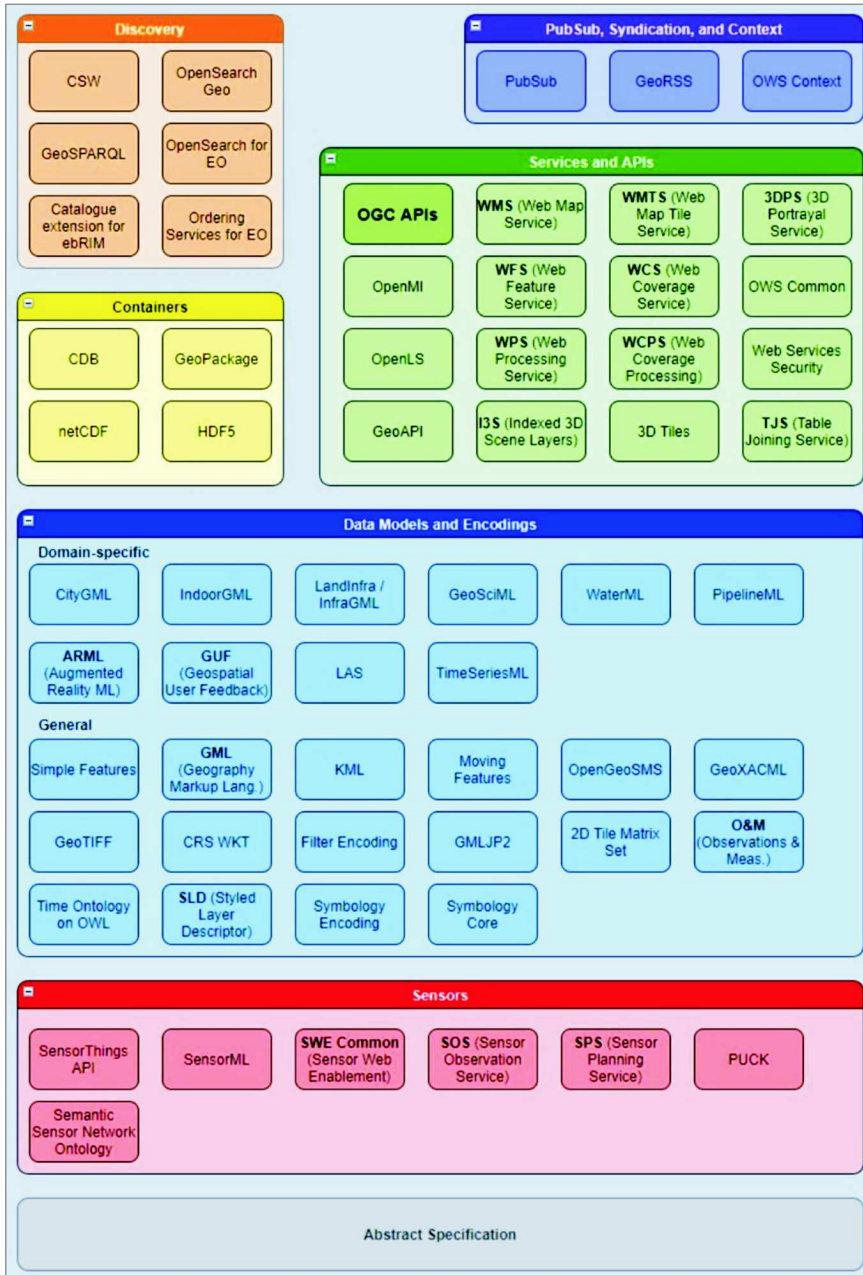


Рис. 1 «Карта» стандартов OGC [9]

еще больше расширило многопользовательскую технологию за счет создания веб-инструментов для обработки и визуализации геомоделей (в виде веб-сервисов и веб-серверов), а современные мобильные устройства позволяют получать геопространственные данные практически из любого места. В общем, «ГИС эволюционировали от автоматизированных картографических приложений к набору технологий, связанных... с геоинформацией» [8]. Но при этом, используя абстракции, инкапсулированные в веб-стандартах OGC (WMS, WCS, WFS и WPS)¹, пользователи имеют доступ в основном к визуализации геоинформации. Задачи разработки веб-приложений, ориентированных на взаимодействие и совместную работу, уже выходят за рамки простых абстракций OGC [8].

Более того, при разработке универсальных систем или при интеграции различных решений ключевой была и остается проблема совместимости [12]. Если стандартизировать форматы обмена данными или определить правила взаимодействия систем достаточно просто, то интегрирование разнородных типов данных из разных источников оказалось более сложной задачей.

Технологии дистанционного зондирования Земли и навигации существуют уже достаточно давно, однако в последнее время в этой сфере возникли некоторые новые реалии, требующие стандартизации.

1. Прогресс в области сенсорной техники дал возможность широко применять особые виды ДЗЗ: тепловые, мультиспектральные съемки, радиолокационное и лазерное сканирование; зачастую предусматривается их совместное использование. Соответственно, назрела необходимость иметь свод стандартов для представления и обработки данных, получаемых этими способами (особенно для сопоставительного анализа их данных).
2. Создание орбитальных группировок («созвездий») средств ДЗЗ, особенно на базе малых космических аппаратов, позволяет многократно, систематически получать изображения одного и того же района с достаточно краткой периодичностью. Такой поток данных ДДЗ потенциально может предоставить новые методы анализа изображений, например: осуществлять поиск изменений в последовательности изображений ДЗЗ на один и тот же район, описывать траектории изменений в местном и региональном масштабах и на этой основе анализировать динамику ландшафта и даже сущность происходящего процесса. Эти задачи имеют место, например, в экологических приложениях [8, 13]. Проблема заключается в сопоставлении разновременных данных, особенно получаемых разными типами сенсоров ДЗЗ или их носителей.

¹WMS (Web Map Service) — интерфейс для запроса геоизображений, имеющих пространственную привязку; WCS (Web Coverage Service) — интерфейс доступа к многомерным растрам; WFS (Web Feature Service) — интерфейс для запроса пространственных объектов; WPS (Web Processing Service) — интерфейс для доступа к вычислениям или моделям, которые работают с пространственно привязанными данными [11].

3. Широкое распространение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) возродило воздушные методы съемки и при этом вывело их на новый уровень. Главным образом это произошло за счет существенного сокращения затрат на оборудование и сами полеты: съемки с БПЛА экономически целесообразны для отдельных объектов и локальных территорий. Однако применение БПЛА имеет свои особенности проведения съемки и последующей обработки таких снимков.

Распространение навигационных устройств, обеспечивающих возможность непрерывного геопозиционирования мобильных объектов, также открыло новые перспективы для геоинформационных приложений. Эти устройства могут функционировать на основе как спутниковой навигационной системы, так и сети сотовой связи. Такое устройство, по сути, представляет собой подвижный геосенсор, обеспечивающий съем как пространственной информации (местоположения), так и непространственных характеристик.

Их обычное применение — в навигационных системах (в том числе на основе карт), системах контроля за подвижными объектами (транспортом, сельхозтехникой) и др. При наличии обратной связи может обеспечиваться дистанционное управление объектом. А в перспективе возможно объединение различных видов взаимодействующих управляемых или автономных транспортных и тому подобных средств в единую сеть.

Распространение геосенсоров, стационарных или подвижных, позволяет использовать новые подходы к изучению процессов на местности, например экологических [8]. Особый интерес представляют сети геосенсоров.

Геосенсор (геодатчик) — устройство для снятия показаний с физического окружения с возможностью геопозиционирования точки снятия данных [13].

Геосенсорные сети (GeoSensor Networks, GSN) — специализированные приложения технологий сенсорных сетей в географическом пространстве, которые поддерживают геопозиционирование, наблюдают за изменениями и отслеживают перемещения явлений и процессов окружающей среды [14], например при мониторинге различных явлений окружающей среды (извержения вулканов, пожары и наводнения) [15].

Можно выделить стационарные и подвижные датчики (и, соответственно, образуемые ими сети). К стационарным датчикам можно отнести, например, сеть уличных камер, сеть метеостанций и т. п. Подвижные (мобильные) датчики наряду с непространственными свойствами снимают также местоположение сопровождаемого ими объекта (т. е. должны иметь навигационное устройство). Поскольку сенсорная сеть в общем случае может включать как стационарные, так и подвижные датчики, необходимо обеспечение совместного использования их данных. В качестве возможного примера на рис. 2 показано взаимодействие в структуре интеллектуальной транспортной системы (ИТС).

Своеобразной разновидностью (обобщением) геосенсорной сети стал «Интернет вещей» (Internet of Things, IoT) — методология организации сети устройств

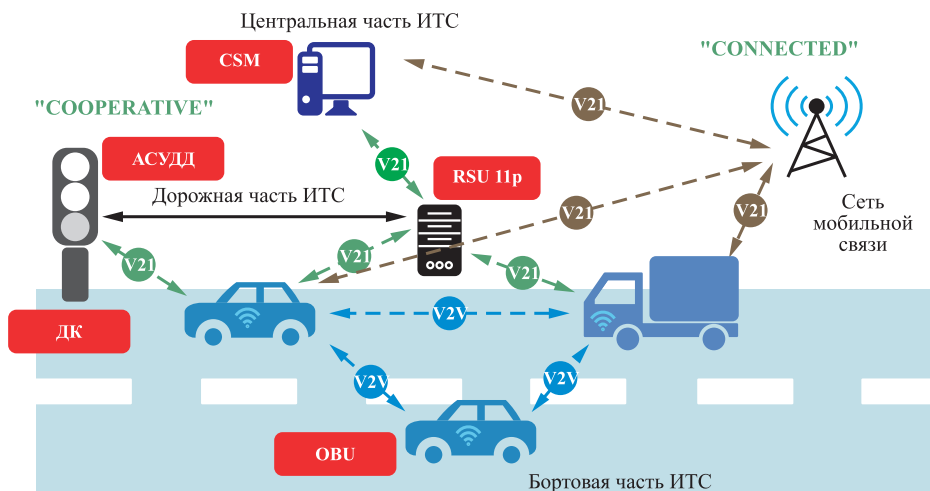


Рис. 2 Структура интеллектуальной транспортной системы [16]

(«вещей»), оснащенных встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой без участия человека [17]. Его сущность заключается в контроле состояния и/или местоположения объекта (стационарного или подвижного).

Сенсорные сети играют большую роль в большинстве приложений IoT, но гетерогенность в каждой сети с точки зрения аппаратных возможностей и протоколов связи влечет за собой использование множества разнообразных стандартов [18]. Это усложняет их использование в сценариях IoT и требует обеспечения совместимости. В этом контексте консорциум OGC разработал структуру открытых стандартов для использования подключенных к сети датчиков и сенсорных систем всех типов. Это, в частности, инициативные стандарты [19] встраиваемых в веб-сеть спутниковых, бортовых и наземных сенсоров Sensor Web Enablement (SWE), которые обеспечивают всестороннюю поддержку использования GSN в реализациях IoT.

Подобно сети WWW (World Wide Web), сенсорная сеть включает в себя три уровня: уровень данных (Data Layer), уровень веб-сервиса (Web Service Layer) и уровень приложений (Application Layer) [20]. Уровень данных, в свою очередь, может быть разделен на уровень физической среды (Physical Layer) и уровень сенсоров (Sensor Layer). Уровень данных обеспечивает наблюдение за параметрами окружающей среды и передает данные сенсоров уровню веб-сервиса. Уровень веб-сервиса обеспечивает доступ уровню приложения для извлечения полученных сенсором данных.

Однако существующие стандарты OGC, связанные с геосенсорами, фокусируются на низкоуровневой связи и таких вопросах, как отказоустойчивость,

надежность и масштабируемость [8]. В этих стандартах не рассматривается преобразование данных этих датчиков в модель, пригодную, например, для мониторинга окружающей среды; для такой трансформации требуется способность моделировать процессы, измеряемые сенсорными сетями. А возрастающая роль датчиков в городском контексте должна подразумевать некоторые новые подходы к пространственному анализу в режиме реального времени.

4 Заключение

Рассмотренные в работе вопросы позволяют предположить, что для разработки перспективных ГИС в идеале необходимо сформировать обновленный свод географических знаний (теорий и «практик», закрепленных в виде стандартов), который будет учитывать современные аспекты работы с геоданными, обусловленные развитием моделей, методов и технологий, и сможет стать основой, предоставляющей готовые конвенциональные решения для востребованных видов задач. В частности, такой свод должен учитывать вопросы: обеспечения взаимодействия и сотрудничества в распределенных ГИС; комплексной обработки геопространственной информации, получаемых различными средствами ДЗЗ; функционирование сетей стационарных и/или подвижных геосенсоров.

Отметим основные проблемные моменты.

1. При разработке ГИС-приложений, ориентированных на взаимодействие и совместную работу, а тем более при разработке универсальных или интегрированных систем, была и остается проблема совместимости, особенно обусловленная интеграцией разнородных типов данных и/или их источников (обеспечение interoperability).
2. Назрела необходимость стандартизировать модели представления и способы обработки данных, получаемых различными способами ДЗЗ, особенно в контексте их комплексного, сопоставительного анализа.
3. В существующих стандартах для геосенсорных сетей не рассматривается преобразование данных геосенсоров в прикладную модель конкретного процесса, измеряемого сенсорной сетью. Кроме того, необходимы особые подходы к пространственному анализу данных геосенсорных сетей в режиме реального времени. А гетерогенность отдельных элементов геосенсорных сетей усложняет их интеграцию и требует обеспечения их совместимости.

Таким образом, результатом должно стать создание стандартизированной, конвенциональной системы эффективных геоделей (БГД) и связанных с ними методов и технологий, обеспечивающей представленные аспекты.

Литература

1. OGC GeoPose 1.0 Data Exchange Draft Standard. <https://docs.ogc.org/dis/21-056r10/21-056r10.html#toc28>.

2. *Laurini R.* Some philosophical issues regarding geometric modeling for geographic information and knowledge systems // *The philosophy of GIS* / Ed. T. Tambassi. — Springer geography ser. — Cham: Springer, 2019. P. 25–50. doi: 10.1007/978-3-030-16829-2_2.
3. *Дулин С. К., Нукишин Д. А.* Подходы к интеграции прикладных концептуальных схем в составе унифицированной геонтологии // *Системы и средства информатики*, 2020. Т. 30. № 2. С. 68–77. doi: 10.14357/08696527200207.
4. *Нукишин Д. А.* Подход к разработке концептуальной схемы базы геоданных с поддержкой многовариантного представления геообъектов // *Системы и средства информатики*, 2022. Т. 32. № 2. С. 128–136. doi: 10.14357/08696527220212.
5. *Нукишин Д. А.* Обзор подходов к пространственно-временному моделированию и выявление основных тенденций развития T-GIS // *Системы и средства информатики*, 2022. Т. 32. № 3. С. 50–62. doi: 10.14357/08696527220305.
6. *Tomlinson R. F.* Geographical data handling: Working papers for participants at the UNESCO/IGU Second Symposium on GIS. — Ottawa, Canada: UNESCO/IGU, 1973. 1327 p.
7. *Goodchild M.* Geographical information science // *Int. J. Geographical Information Analysis*, 1992. No. 6. P. 31–45. doi: 10.1080/02693799208901893.
8. *Câmara G., Vinhas L., Davis C., Fonseca F., Carneiro T.* Geographical information engineering in the 21st century // *Research trends in geographic information science*. — Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. P. 203–218. doi: 10.1007/978-3-540-88244-2_14.
9. GEOG 583 Geospatial system analysis and design: Open data standards. <https://www.e-education.psu.edu/geog583/node/64>.
10. *Дулин С. К., Розенберг И. Н., Уманский В. И.* О проблеме интеграции информационных ресурсов // *Системы и средства информатики*, 2019. Т. 29. № 3. С. 127–138. doi: 10.14357/08696527190311.
11. ГОСТ Р 59084-2020. Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Интеграция сервисов (услуг), предоставляемых потребителям с использованием ДЗЗ из космоса, с картографическими веб-сервисами. — М.: Росстандартинформ, 2020. 12 с.
12. О трендах рынка геoinформационных технологий в России. <https://russian-spacesystems.ru/2022/02/17/o-trendakh-rynka-geoinformacionnykh-tekhnologiy>.
13. *Дик К. С., Терех И. С., Криштонова Е. А.* Построение геосенсорных сетей мониторинга окружающей среды на основе Internet of Things // *BIG DATA и анализ высокого уровня: Тр. 3-й Междунар. научн.-практич. конф.* — Минск: БГУИР, 2017. С. 196–201.
14. *Nittel S.* A survey of geosensor networks: Advances in dynamic environmental monitoring // *Sensors*, 2009. Vol. 9. P. 5664–5678. doi: 10.3390/s90705664.
15. OGC Reference Model (ORM) OGC 08-062r7 (version 2.1). <http://www.opengis.net/doc/orm/2.1>.
16. Разработка Концепции создания испытательного полигона интеллектуальных транспортных систем. <https://spbtrd.ru/projects/transportation-safety-and-development-of-intelligent-transport-systems/the-concept-of-creating-a-testing-ground-for-intelligent-transportation-systems>.
17. *Gershenfeld N., Krikorian R., Cohen D.* The Internet of Things // *Sci. Am.*, 2004. Vol. 291. No. 4. P. 76–81. doi: 10.1038/scientificamerican1004-76.

18. Tan J., Koo S. G. A survey of technologies in Internet of Things // Conference (International) on Distributed Computing in Sensor Systems. — IEEE, 2014. P. 269–274. doi: 10.1109/DCOSS.2014.45.
19. Sensor Web Enablement (SWE). <http://www.opengeospatial.org/ogc/market-technologies/swe>.
20. Karimi H. A. Big Data: Techniques and technologies in geoinformatics. — CRC Press, 2014. 312 p.

Поступила в редакцию 07.03.23

DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF THE METHODOLOGICAL BASE FOR WORKING WITH GEODATA IN PROMISING GEOINFORMATION SYSTEMS

D. A. Nikishin

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

Abstract: The directions of improving the methodological base for promising geoinformation systems (GIS) are considered. The main subject of consideration are technologies due to the provision of interaction and cooperation in distributed GIS, complex processing of data obtained by various means of remote sensing of the Earth, and functioning of networks of stationary and/or mobile geosensors. The conclusion is made about the expediency of forming an updated set of conventional geographical knowledge (theories and “practices” fixed in the form of standards) taking into account the modern development of models, methods, and technologies for working with geodata which can become the basis for solving popular types of tasks in perspective GIS.

Keywords: geoinformation systems; geoinformation engineering; modeling of geographical phenomena; geosensory networks

DOI: 10.14357/08696527230204

References

1. OGC GeoPose 1.0 Data Exchange Draft Standard. Available at: <https://docs.ogc.org/dis/21-056r10/21-056r10.html#toc28> (accessed April 7, 2023).
2. Laurini, R. 2019. Some philosophical issues regarding geometric modeling for geographic information and knowledge systems. *The philosophy of GIS*. Ed. T. Tambassi. Springer geography ser. Cham: Springer. 25–50. doi: 10.1007/978-3-030-16829-2.2.
3. Dulin, S. K., and D. A. Nikishin. 2020. Podkhody k integratsii prikladnykh kontseptual'nykh skhem v sostave unifitsirovannoy geoontologii [Approaches to the integration

- of the application conceptual schemas in the unified geontology]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 30(2):68–77. doi: 10.14357/08696527200207.
4. Nikishin, D. A. 2022. Podkhod k razrabotke kontseptual'noy skhemy bazy geodannykh s podderzhkoy mnogovariantnogo predstavleniya geoob"ektov [An approach to the development of a conceptual scheme of a geodata database with support for a multivariate representation of geoobjects]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 32(2):128–136. doi: 10.14357/08696527220212.
 5. Nikishin, D. A. 2022. Obzor podkhodov k prostranstvenno-vremennomu modelirovaniyu i vyyavlenie osnovnykh tendentsiy razvitiya T-GIS [Overview of approaches to space–time modeling and the main trends in the development of T-GIS]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 32(3):50–62. doi: 10.14357/08696527220305.
 6. Tomlinson, R. F. 1973. *Geographical data handling: Working papers for participants at the UNESCO/IGU Second Symposium on GIS*. Ottawa, Canada: UNESCO/IGU. 1327 p.
 7. Goodchild, M. 1992. Geographical information science. *Int. J. Geographical Information Analysis* 6:31–45. doi: 10.1080/02693799208901893.
 8. Câmara, G., L. Vinhas, C. Davis, F. Fonseca, and T. Carneiro. 2009. Geographical information engineering in the 21st century. *Research trends in geographic information science*. Berlin, Heidelberg: Springer. 203–218. doi: 10.1007/978-3-540-88244-2_14.
 9. GEOG 583. Geospatial system analysis and design: Open data standards. Available at: <https://www.e-education.psu.edu/geog583/node/64> (accessed April 7, 2023).
 10. Dulin, S. K., I. N. Rozenberg, and V. I. Umanskiy. 2019. O probleme integratsii informatsionnykh resursov [About the problem of information resources integration]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(3):127–138. doi: 10.14357/08696527190311.
 11. GOST R 59084-2020. 2020. *Dannye distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. Integratsiya servisov (uslug), predostavlyaemykh potrebitelyam s ispol'zovaniem DZZ iz kosmosa s kartograficheskimi veb-servisami* [Earth remote sensing data from space. Integration of services provided to consumers using remote sensing data from space with web-mapping tools]. Moscow: Rosstandartinform Publ. 12 p.
 12. O trendakh rynka geoinformatsionnykh tekhnologiy v Rossii [On the trends of the geoinformation technology market in Russia]. Available at: <https://russianspacesystems.ru/2022/02/17/o-trendakh-rynka-geoinformacionnykh-tekhnolgiy> (accessed April 7, 2023).
 13. Dik, K. S., I. S. Terekh, and E. A. Krishtopova. 2017. Postroenie geosensornykh setey monitoringa okruzhayushchey sredy na osnove Internet of Things [Construction of geosensor networks for environmental monitoring based on the Internet of Things]. *BIG DATA i analiz vysokogo urovnya: Tr. 3-y Mezhdunar. nauchn.-praktich. konf. [BIG DATA and Advanced Analytics: Collection of materials of the 3rd Scientific and Practical Conference (International)]*. Minsk: BGUIR. 196–201.
 14. Nittel, S. 2009. A survey of geosensor networks: advances in dynamic environmental monitoring. *Sensors* 9(7):5664–5678. doi: 10.3390/s90705664.
 15. OGC Reference Model (ORM) OGC 08-062r7 (version 2.1). Available at: <http://www.opengis.net/doc/orm/2.1> (accessed April 7, 2023).

16. Razrabotka Kontseptsii sozdaniya ispytatel'nogo poligona intellektual'nykh transportnykh sistem [Development of the Concept for the creation of a test site for intelligent transport systems]. Available at: <https://spbtrd.ru/projects/transportation-safety-and-development-of-intelligent-transport-systems/the-concept-of-creating-a-testing-ground-for-intelligent-transportation-systems/> (accessed April 7, 2023).
17. Gershenfeld, N., R. Krikorian, and D. Cohen. 2004. The Internet of Things. *Sci. Am.* 291(4):76–81. doi: 10.1038/scientificamerican1004-76.
18. Tan, J., and S. G. Koo. 2014. A survey of technologies in Internet of Things. *Conference (International) on Distributed Computing in Sensor Systems*. IEEE. 269–274. doi: 10.1109/DCOSS.2014.45.
19. Sensor Web Enablement (SWE). Available at: <http://www.opengeospatial.org/ogc/markets-technologies/swe/> (accessed April 7, 2023).
20. Karimi, H. A. 2014. *Big Data: Techniques and technologies in geoinformatics*. CRC Press. 312 p.

Received March 7, 2023

Contributor

Nikishin Dmitry A. (b. 1976)— 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; dmnikishin@mail.ru

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ГЕОДАНЫХ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

И. Н. Розенберг¹, С. К. Дулин²

Аннотация: Слияние, или синтез, данных (data fusion) — процесс, при котором для анализа используются данные, объединенные из нескольких источников для получения более согласующейся, точной и полезной информации. Получение и слияние данных от датчиков определяется как мультисенсорное слияние данных. Самым ярким примером слияния данных служит собственно человек, который постоянно комбинирует данные, поступающие от всех органов чувств для выполнения необходимых действий в окружающей среде. В частности, человек не смог бы водить машину без слияния зрительных, слуховых данных и данных моторики. В геоинформатике вместо синтеза геоданных часто используется термин интеграция геоданных. Современные географические информационные системы могут комбинировать различные наборы геоданных так, что полученные в результате наборы геоданных содержат атрибуты и метаданные, которых нет у точек в комбинируемых наборах данных. В статье анализируются категории и модели синтеза геоданных, используемые для обеспечения поддержки актуальности системы пространственных данных в инфраструктуре железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: синтез данных; категории синтеза данных; модель синтеза данных

DOI: 10.14357/08696527230205

1 Введение

Тема синтеза геоданных, или интеграции геоданных, объединенных из нескольких источников, не нова, но современные технологии интеграции геоданных предоставляют возможности для улучшения этого процесса [1]. Интеграция геоданных в распределенных информационных средах с функциональной совместимостью, основанной на открытых стандартах, радикально меняет классические области процесса интеграции, предлагая совершенно новые способы распознавания отношений. Геопространственные мероприятия, основанные на местоположении и времени, в настоящее время стали наиболее распространенными, хотя гетерогенность геоданных сильно усложняет проведение интеграции.

¹Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (АО НИИАС), I.Rozenberg@vniias.ru

²Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук; Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (АО НИИАС), skdulin@mail.ru

Открытый геопространственный консорциум (Open Geospatial Consortium, OGC) стал международной некоммерческой добровольной организацией по стандартам отраслевого консенсуса, которая предоставляет платформу для обсуждения и предлагает верифицированные процессы для совместной разработки бесплатных и общедоступных спецификаций интерфейса (открытых стандартов). Эти открытые стандарты обеспечивают более легкий доступ к геопространственной информации и ее использование, интеграцию, а также улучшенную функциональную совместимость геопространственных технологий (на любом устройстве, платформе, системе, сети или предприятии) для удовлетворения потребностей мирового сообщества. Открытые стандарты OGC широко внедрены на рынке геоинформационных услуг и помогают развивать распределенный и компонентный синтез решений, которые поддерживают гео-веб, беспроводные и геолокационные сервисы, а также более широкие правительственные и деловые информационно-технологические предприятия по всему миру.

Для выполнения своей деятельности консорциум OGC проводит три вида программ.

1. Программа спецификаций OGC способствует созданию официальных комитетов, рабочих групп и групп с особыми интересами, основанных на консенсусе, которые организуют форум для отраслевых предприятий, исследовательских и пользовательских сообществ, обеспечивая совместное выявление, приоритизацию и продвижение решений с целью удовлетворения потребностей в стандартах.
2. Программа функциональной совместимости и синтеза решений способствует быстрому прототипированию, тестированию и валидации новых стандартов с помощью быстроразвивающихся испытательных стендов, экспериментов, пилотных инициатив и связанных с ними технико-экономических обоснований.
3. Программы OGC по информационно-разъяснительной работе и адаптации в обществе — это программы повышения осведомленности и внедрения стандартов OGC в геоинформационном сообществе.

Следует отметить, что без открытых стандартов геоданные и сервисы сложно синтезировать и масштабировать. Данные, приложения и сервисы, соответствующие стандартам, создают автоматизированную и интероперабельную среду синтеза геоданных, обеспечивая совместный доступ к геоданным и сервисам их обработки.

Стандартизованная открытая структура синтеза геоданных широко распространена в среде потребителей георесурсов. Так, стандарт обработки карты в сети (Web Map Service [2] — WMS) поддерживает синтез карт. Стандарт WMS синтезирует карты в виде уровней изображений (рис. 1).

Далее в работе анализируются категории и модели синтеза геоданных, используемые для обеспечения поддержки актуальности системы пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта.

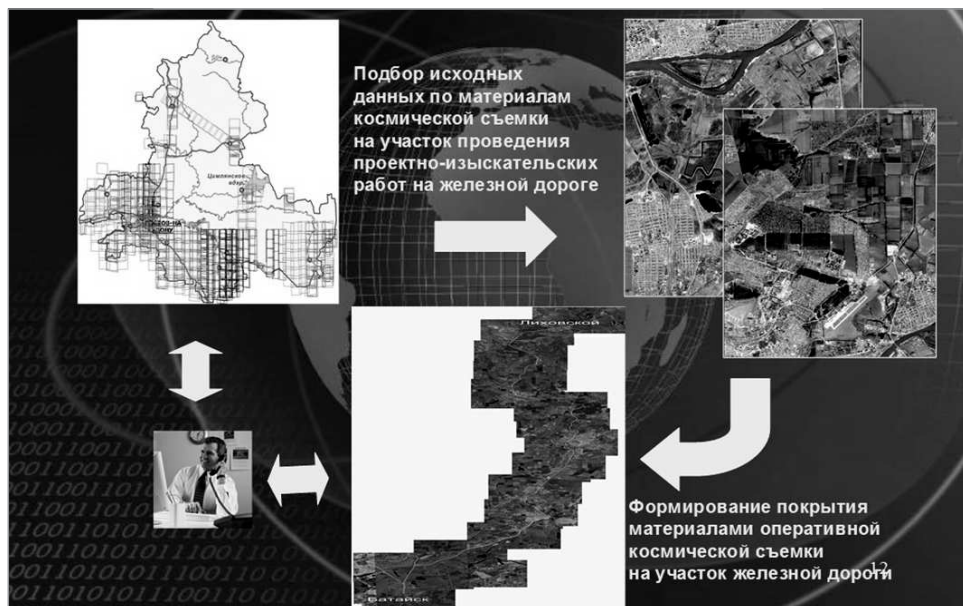


Рис. 1 Вариант геоинформационного синтеза, поддерживающего WMS-стандарт OGC. Геоданные последовательно синтезируются в единственную визуализацию

2 Категории синтеза данных

Синтез данных, как определено OGC, выглядит следующим образом:

«Синтез данных (*data fusion*) — это акт или процесс объединения или связывания данных или информации, касающихся одной или нескольких сущностей, рассматриваемых в явной или неявной структуре знаний, для улучшения возможностей обнаружения, идентификации или характеристик исследуемых сущностей» [3].

При обсуждении синтеза данных обычно используются три категории (рис. 2):

- (1) синтез наблюдений (показаний датчиков);
- (2) синтез объектов;
- (3) синтез решений.

Фундаментальным понятием в любом типе синтеза данных остается построение ассоциаций между одним или несколькими элементами данных. Во многих случаях эта ассоциация может также включать дополнительную обработку и абстракцию и приводить к элементу данных нового типа. Это понятие приводит к категориям синтеза данных, основанным на типе связанных элементов данных: синтез наблюдений, синтез объектов и синтез решений (см. рис. 2).

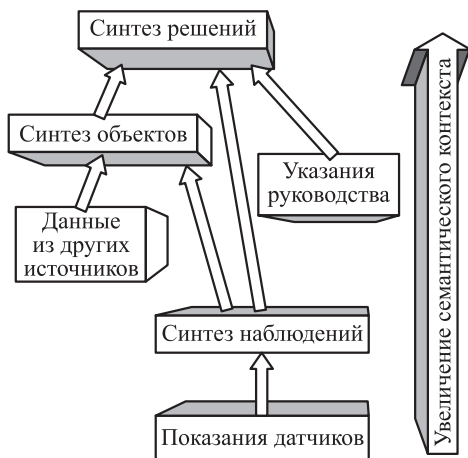


Рис. 2 Архитектура сервисов синтеза

Обычно термин «синтез датчиков» используется для обозначения синтеза наблюдений. Синтез наблюдений — более точный и предпочтительный термин. Синтез объектов представляется более проблематичным, чем синтез наблюдений. Эти два термина имеют разную семантику в отдельных областях обработки изображений и ГИС.

Определения трех категорий синтеза, используемых в настоящей работе:

- (1) синтез наблюдений (показаний датчиков [4]) — это объединение нескольких сенсорных измерений одних и тех же явлений или событий в комбинированное наблюдение и анализ сигнатуры измерений, а также синтез варьирующихся сенсорных измерений различных наблюдаемых свойств и достаточно полно описанных наблюдений, включая неопределенности;
- (2) синтез объектов — это обработка наблюдений для получения семантических признаков более высокого порядка и обработка этих признаков. Синтез объектов улучшает понимание оперативной ситуации и оценку потенциальных угроз и воздействий для выявления, классификации, ассоциирования и агрегирования объектов. Процессы синтеза объектов и признаков включают также обобщение и объединение признаков;
- (3) синтез решений — это акт или процесс поддержки способности человека принимать решение путем предоставления среды совместимых сетевых услуг для оценки ситуации, оценки воздействия и поддержки принятия решений с использованием информации от нескольких датчиков и другой обработанной информации.

На рис. 3 представлена функциональная схема узла синтеза решений с пояснением действий в таблице [3].

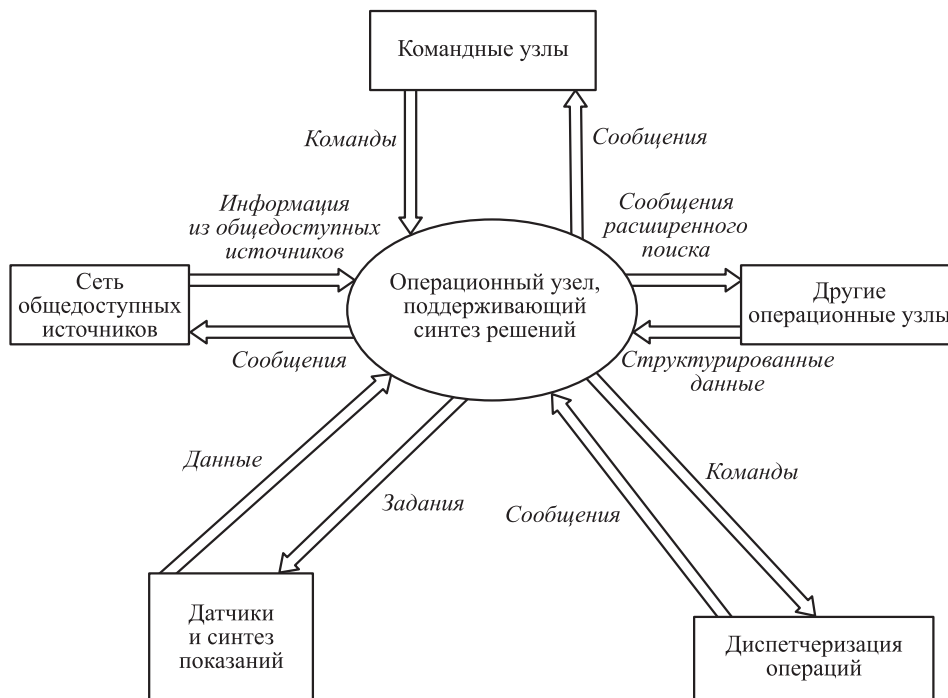


Рис. 3 Функциональная схема узла синтеза решений

3 Модель синтеза данных

В качестве примера реализации успешного синтеза решений можно привести работу «Межведомственной системы ситуационной осведомленности» (Multi-Agency Situational Awareness System, MASAS) канадских агентств по управлению чрезвычайными ситуациями [5] по созданию национального потенциала для обмена информацией о геопространственных чрезвычайных инцидентах. Основанная на открытых и совместимых стандартах система объединяет информацию из нескольких источников для поддержки процесса принятия решений, улучшая ситуационную осведомленность участвующих организаций. Архитектура MASAS использовалась для разработки и развертывания компонентных систем MASAS для обмена информацией об инцидентах. Существует возможность расширения MASAS на ряд других приложений для объединения решений, таких как синтез информации о реагировании на чрезвычайные ситуации и трансграничный синтез информации.

Другим примером функционирующего синтеза решений служит интегрированная система оповещения IPAWS (Integrated Public Alerting and Warning Sys-

Информационные потоки узлов синтеза решений на рис. 3

Информационный поток	Описание информационного потока
<i>Команды</i> из командных узлов	Структурированная информация, на основе которой должен действовать узел синтеза решений
<i>Сообщения</i> командным узлам	Информация о структуре, полученная в результате синтеза на узле синтеза решений
<i>Открытый исходный код</i> расширенного поиска	Сбор неструктурированной информации с помощью узла синтеза решений из интернета (или через узел сбора данных с открытым исходным кодом) решений
<i>Данные</i> от датчика и синтез показаний	Структурированная информация, полученная в результате синтеза наблюдений датчиков и анализа объектов решений
<i>Синтез заданий</i> датчику и его показаний	Структурированные сообщения, запрашивающие результаты наблюдений, включая запрос на генерацию синтеза решений
<i>Команды</i> диспетчеризации операций	Структурированная информация, направляющая деятельность диспетчеризации операций решений
<i>Сообщения</i> от диспетчеризации операций	Структурированная информационная отчетность о состоянии диспетчерской и оперативной деятельности решений
<i>Расширенный поиск</i> на других операционных узлах	Поисковые запросы к операционному узлу, распознаваемому узлом синтеза решений решений
<i>Сообщения</i> на другие операционные узлы	Структурированная информация, передаваемая на операционный узел, распознаваемый узлом синтеза решений решений
<i>Структурированные данные</i> из других узлов операций	Структурированная информация, полученная от операционных узлов, распознаваемых узлом синтеза решений решений

tem), предназначенная для повышения общественной безопасности посредством распространения экстренных сообщений в социальной среде по всем возможным устройствам связи [6]. В IPAWS в рамках нескольких проектных инициатив используются специальные технологии обмена сообщениями для улучшения и расширения возможностей оповещения аварийно-спасательными службами, менеджерами по инцидентам и государственными должностными лицами на всех уровнях государственного управления.

Одной из наиболее значимых моделей синтеза считается модель JDL [7]. На рис. 4 изображен информационный поток в модели, объединяющей отмеченные на рис. 1 три категории синтеза данных:

- **Синтез наблюдений** (уровень 0).
- **Синтез объектов** (уровень 1).
- **Оценка ситуации** (уровень 2): восприятие элементов окружающей среды в пределах объема времени и пространства, понимание их значения и проекция их статуса на ближайшее будущее.

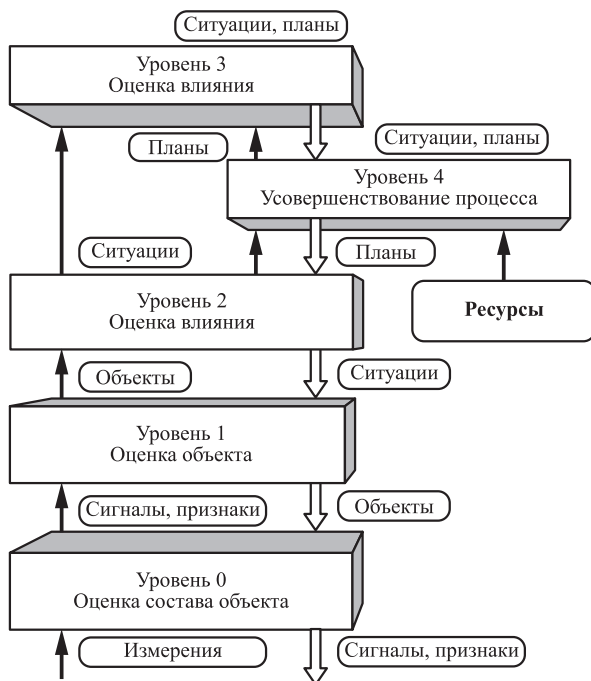


Рис. 4 Модель синтеза данных JDL

- **Оценка воздействия** (уровень 3): процесс рассмотрения последствий предлагаемых действий для людей и их среды при возможности их корректировки. Он применяется на всех уровнях принятия решений — от планирования до конкретных проектов.
- **Совершенствование** процессов (уровень 4): адаптивный сбор и обработка данных для поддержки целей процесса.

Осознание и оценка ситуации — это комбинированный продукт восприятия, понимания и проекции, получающийся в результате обработки пространственных, временных и семантических атрибутов метаданных объектов.

Современные концептуальные модели синтеза информации, в том числе и модель JDL, не учитывают тот факт, что источники информации часто базируются на разных онтологических основаниях [7], поэтому считается, что модель JDL, которая обслуживает общие ссылки на пространство и время, должна быть дополнена условным аспектом общего онтологического выравнивания. Онтологическое выравнивание — это акт установления отношения соответствия между двумя или более символами из разных онтологий для тех символов понятий, которые семантически идентичны или похожи.

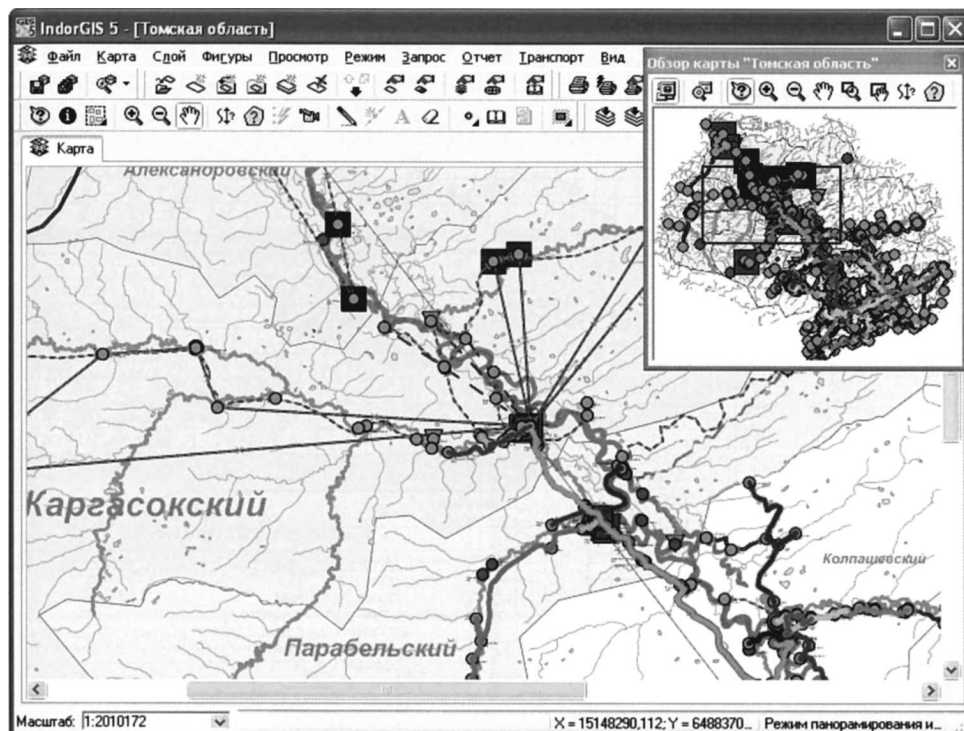


Рис. 5 Синтез решений на основе коммутации геоданных из разных источников

Информация, используемая в моделях синтеза данных, может рассматриваться в двух широких категориях: структурированная и неструктурированная информация [8]. При этом структурированная информация определяется как соответствующая структурам установленных стандартов. Существующие стандарты OGC для структурированной информации включают в себя спецификацию OGC признаков, покрытий, наблюдений и геометрии.

На рис. 5 показан пример синтеза решений [9], который связан с анализом тенденций и причин паводка в районе слияния рек на основе геоданных из нескольких источников. Синтез решений, проводимый в этом исследовании, представляет собой комплексную операцию, включающую как геоданные, получаемые от человека с мобильных устройств, так и геоданные общей обстановки из центра МЧС. Используемые геоданные представляют собой как структурированную, так и неструктурированную информацию [10]. Таким образом, информация, доступная для осуществления синтеза решений, — это коллекция сведений интеллектуального корпоративного капитала, поскольку источниками таких сведений выступают люди, документы, оборудование или технические датчики. Эти сведения могут быть сгруппированы следующим образом:

- сведения, получаемые от людей;
- геопространственные сведения, накопленные в виде георесурсов;
- сведения в виде сигналов датчиков;
- сведения в виде данных измерения разнообразных параметров;
- сведения о геоданных открытого доступа произвольного формата;
- сведения о научно-технических разведывательных геоданных.

Развитие синтеза решений требует разработки стандартов, таких как методы отображения схемы с соответствующей идентификацией правил отображения, и увеличения акцента на обрабатывание ассоциаций, поскольку идентификация ассоциации между объектами лежит в основе синтеза. Самая эффективная среда для реализации указанных категорий синтеза — это архитектура с распределенными базами данных и сервисами, основанными на общем ядре форматов геоданных, алгоритмов и приложений [11].

4 Интеграция геоданных в комплексной системе пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта

Существующие подходы к реализации синтеза решений найдут свое применение в информационном обеспечении проектирования, строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов железнодорожной инфраструктуры. Комплексная система пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта (КСПД ИЖТ) разрабатывается в соответствии с распоряжением президента ОАО «РЖД» от 3 декабря 2010 года № 2511р «О создании комплексной системы пространственных данных инфраструктуры железнодорожного транспорта». Гетерогенность геоданных, подлежащих комплексированию и синтезу в КСПД ИЖТ, выдвигает на передний план решение задачи геоинтероперабельности отраслевого масштаба [12, 13] как задачи совместного согласованного использования геоданных, полученных из разных информационных источников (рис. 6).

КСПД ИЖТ — это информационно-технологическая система централизованного сбора, интеграции, хранения и анализа координатно-привязанных сведений об объектах инфраструктуры железнодорожного транспорта. Разрабатываемая система предназначена для оптимизации технологических процессов контроля и управления инфраструктурными объектами железнодорожного транспорта на всех этапах жизненного цикла, включая проектирование, строительство, эксплуатацию, ремонт и текущее содержание, на основе единого методологического, технологического и информационного пространства. Обработка и синтез пространственных данных об объектах инфраструктуры включают сведения о местоположении объектов, их свойствах, пространственных и непространственных атрибутах. Координатная привязка объектов выполняется к предварительно

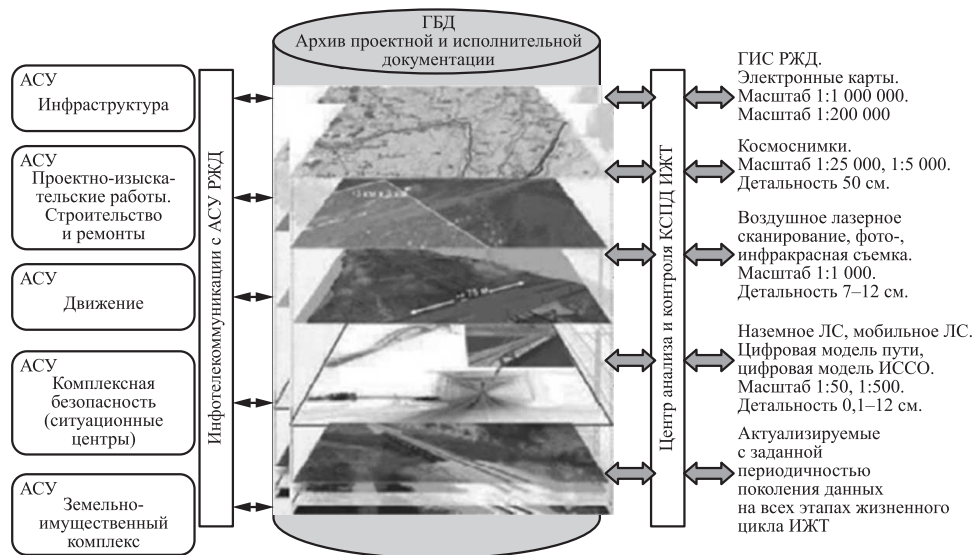


Рис. 6 Функционал КСПД ИЖТ [7]

созданной геодезической основе (пунктам геодезической сети) в заданной системе координат.

Основные подсистемы КСПД ИЖТ:

- высокоточная координатная система, позволяющая выполнять изыскательские, проектные, строительные работы, текущее содержание в едином координатном пространстве с высокой точностью;
- база геоданных, синтезирующая результаты всех измерений в едином координатном пространстве и дающая возможность сравнения результатов измерений;
- аппаратно-программный комплекс, реализующий сбор, обработку, хранение и предоставление геоданных функциональных приложений.

При этом функционал КСПД ИЖТ поддерживает решение следующих задач:

- централизация и унификация процессов сбора, обработки и интеграции геоданных — ведение базы геоданных;
- информационное обеспечение процессов комплексной оценки технического состояния объектов инфраструктуры;
- планирование ремонтных работ объектов инфраструктуры по оцениваемому состоянию;
- информационная поддержка процесса проектного содержания пути — синтезированное решение с учетом всей имеющейся информации;

- оценка антропогенных и природных угроз безопасности движения путем выявления мест, представляющих потенциальную опасность;
- планирование перевозок негабаритных грузов;
- информационная поддержка принятия стратегических решений путем синтеза геоданных об инфраструктуре, оперативности их выбора по любому заданному критерию, наглядности их представления как в графической, так и в табличной форме.

5 Заключение

Междисциплинарность современных проблем определяет необходимость привлечения групп специалистов из одной или разных областей знаний, порождая задачу синтеза их данных и действий в процессе работы. В статье описаны три этапа процесса синтеза решений в распределенных информационных средах с функциональной совместимостью, основанной на открытых стандартах. Необходимость динамического обновления базы геоданных обуславливает поддержание обоснованного синтеза и представление ее в виде согласованной совокупности информационных ресурсов в соответствии с требованиями семантической интероперабельности [14]. Интеграция информационных ресурсов в едином информационном пространстве предполагает успешное решение задач тематического поиска и синтеза интегрируемых данных и знаний.

Литература

1. *Stankute S., Asche H.* A data fusion system for spatial data mining, analysis and improvement // *Computational science and its applications* / Eds. B. Murgante, O. Gervasi, S. Misra, *et al.* — Lecture notes in computer science ser. — Berlin–Heidelberg: Springer, 2012. Vol. 7334. P. 439–449. doi: 10.1007/978-3-642-31075-1_33.
2. OGC. Web services testbed, phase 8 (OWS-8) demonstrations. <https://www.ogc.org/standards>.
3. Open Geospatial Consortium. OGC. Fusion Standards Study Engineering Report (Part 1 ER). <https://www.semanticscholar.org/paper/Geodata-fusion-study-by-the-Open-Geospatial-Percivall/ef52e9587bc3cd12c19f9dfdf7b597300758c8cc>.
4. *Ciunzo D., Salvo Rossi P.* Decision fusion with unknown sensor detection probability // *IEEE Signal Proc. Let.*, 2014. Vol. 21. No. 2. P. 1–5.
5. Multi-Agency Situational Awareness System (MASAS). [https://proceedings.esri.com/library/userconf/hss11/papers/situational_awareness_tools_emergency_management%20\(pdonnell\).pdf](https://proceedings.esri.com/library/userconf/hss11/papers/situational_awareness_tools_emergency_management%20(pdonnell).pdf).
6. Integrated Public Alerting and Warning System (IPAWS). <https://www.fema.gov/emergency-managers/practitioners/integrated-public-alert-warning-system>.
7. *Dorion É., Fortin S.* Multi-source semantic integration — revisiting the theory of signs and ontology alignment principles // 10th Conference (International) on Information Fusion. doi: 10.1109/ICIF.2007.4408139.

8. *Dulin S. K., Dulina N. G., Ermakov P. V.* Information fusion of documents // Информатика и её применения, 2020. Т. 14. Вып. 1. С. 128–135. doi: 10.14357/19922264200117.
9. *Дулин С. К., Розенберг И. Н., Уманский В. И.* О проблеме интеграции информационных ресурсов // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 3. С. 127–138. doi: 10.14357/08696527190311.
10. *Дулин С. К., Дулина Н. Г., Кожунова О. С.* Синтез геоданных в пространственных инфраструктурах на основе связанных данных // Информатика и её применения, 2019. Т. 13. Вып. 1. С. 82–90. doi: 10.14357/19922264190112.
11. *Pravia M. A., Prasanth R. K., Arambel P. O., et al.* Generation of a fundamental data set for hard/soft information fusion // 11th Conference (International) on Information Fusion Proceedings. — Cologne: International Society of Information Fusion, 2008. P. 134–145.
12. *Гуляев Ю. В., Журавлев Е. Е., Олейников А. Я.* Методология стандартизации для обеспечения интероперабельности информационных систем широкого класса // Ж. радиоэлектроники, 2012. № 3. С. 18–25.
13. *Уманский В. И., Дулин С. К., Трусов С. В., Якушев Д. А.* Автоматизация сбора и обработки пространственных данных железнодорожной инфраструктуры // Железнодорожный транспорт, 2017. № 10. С. 46–49.
14. *Дулин С. К., Дулина Н. Г., Ермаков П. В.* Интеллектуализация доступа к геоданным на основе семантической геоинтероперабельности // Информационно-измерительные и управляющие системы, 2014. Т. 12. № 8. С. 41–47.

Поступила в редакцию 13.01.23

SELECTION OF TECHNOLOGICAL SOLUTIONS TO SUPPORT THE PROCESS OF SYNTHESIS OF GEODATA OF RAILWAY TRANSPORT INFRASTRUCTURE

I. N. Rozenberg¹ and S. K. Dulin^{1,2}

¹Research & Design Institute for Information Technology, Signalling, and Telecommunications on Railway Transport, 27-1 Nizhegorodskaya Str., Moscow 109029, Russian Federation

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

Abstract: Datafusion is a process in which data combined from multiple sources are used for analysis to produce more consistent, accurate, and useful information. Receiving and merging data from sensors is defined as multisensor data fusion. The most striking example of data fusion is the person himself who constantly combines data coming from all the senses to perform the necessary actions in the environment. In particular, a person would not be able to drive a car without the

fusion of visual, auditory, and motor data. In geoinformatics, instead of geodata synthesis, the term geodata integration is often used. Modern geographic information systems can combine different geodatasets so that the resulting geodatasets contain attributes and metadata not available for the points in the combined datasets. The article analyzes the categories and models of geodata synthesis used to ensure the relevance of the spatial data system in the infrastructure of railway transport.

Keywords: data synthesis; categories of data synthesis; data synthesis model

DOI: 10.14357/08696527230205

References

1. Stankute, S., and H. Asche. 2012. A data fusion system for spatial data mining, analysis and improvement. *Computational science and its applications*. Eds. B. Murgante, O. Gervasi, S. Misra, *et al.* Lecture notes in computer science ser. Berlin–Heidelberg: Springer. 7334:439–449. doi: 10.1007/978-3-642-31075-1_33.
2. OGC. Web services testbed, phase 8 (OWS-8) demonstrations. Available at: <https://www.ogc.org/standards> (accessed April 20, 2023).
3. Open Geospatial Consortium. OGC. Fusion Standards Study Engineering Report (Part 1 ER). Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Geodata-fusion-study-by-the-Open-Geospatial-Percivall/ef52e9587bc3cd12c19f9dfdf7b597300758c8cc> (accessed April 20, 2023).
4. Ciunzo, D., and P. Salvo Rossi. 2014. Decision fusion with unknown sensor detection probability. *IEEE Signal Proc. Let.* 21(2):1–5.
5. Multi-Agency Situational Awareness System (MASAS). Available at: [https://proceedings.esri.com/library/userconf/hss11/papers/situational_awareness_tools_emergency_management%20\(pdonnell\).pdf](https://proceedings.esri.com/library/userconf/hss11/papers/situational_awareness_tools_emergency_management%20(pdonnell).pdf) (accessed April 20, 2023).
6. Integrated public alerting and warning system (IPAWS). Available at: <https://www.fema.gov/emergency-managers/practitioners/integrated-public-alert-warning-system> (accessed April 20, 2023).
7. Dorion, É., and S. Fortin. 2007. Multi-source semantic integration — revisiting the theory of signs and ontology alignment principles. *10th Conference (International) on Information Fusion*. 1–6. doi: 10.1109/ICIF.2007.4408139.
8. Dulin, S. K., N. G. Dulina, and P. V. Ermakov. 2020. Information fusion of documents. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 14(1):128–135. doi: 10.14357/1992264200117.
9. Dulin, S. K., I. N. Rozenberg, and V. I. Umanskiy. 2019. O probleme integratsii informatsionnykh resursov [About the problem of information resources integration]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(3):127–138. doi: 10.14357/08696527190311.
10. Dulin, S. K., N. G. Dulina, and O. S. Kozhunova. 2019. Sintez geodannykh v prostranstvennykh infrastrukturakh na osnove svyazannykh dannykh [Synthesis of geodata in spatial infrastructures based on related data]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 13(1):82–90. doi: 10.14357/1992264190112.

11. Pravia, M., R. K. Prasanth, P. O. Arambel, *et al.* 2008. Generation of a fundamental data set for hard/soft information fusion. *11th Conference (International) on Information Fusion Proceedings*. Cologne: International Society of Information Fusion. 134–145.
12. Gulyayev, Yu. V., E. E. Zhuravlev, and A. Ya. Oleynikov. 2012. Metodologiya standartizatsii dlya obespecheniya interoperabel'nosti informatsionnykh sistem shirokogo klassa. Analiticheskiy obzor [Standardization methodology to ensure the interoperability of information systems of a wide class. Analytical review]. *Zh. radioelektroniki* [J. Radio Electronics] 3:18–25.
13. Umansky, V. I., S. K. Dulin, S. V. Trusov, and D. A. Yakushev. 2017. Avtomatizatsiya sbora i obrabotki prostranstvennykh dannykh zheleznodorozhnoy infrastruktury [Automated methods of collecting and processing spatial data for the railway transport infrastructure]. *Zheleznodorozhnyy transport* [Railway Transport] 10:46–49.
14. Dulin, S. K., N. G. Dulina, and P. V. Ermakov. 2014. Intellektualizatsiya dostupa k geodannym na osnove semanticheskoy geointeroperabel'nosti [Intellectualization of access to geodata based on semantic geointeroperability]. *Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy* [J. Information-Measuring and Control Systems] 12(8): 41–47.

Received January 13, 2023

Contributors

Rozenberg Igor N. (b. 1965) — Doctor of Science in technology, professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, research advisor, Research & Design Institute for Information Technology, Signalling, and Telecommunications on Railway Transport, 27-1 Nizhegorodskaya Str., Moscow 109029, Russian Federation; I.Rozenberg@vniias.ru

Dulin Sergey K. (b. 1950) — 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; principal scientist, Research & Design Institute for Information Technology, Signalling, and Telecommunications on Railway Transport, 27-1 Nizhegorodskaya Str., Moscow 109029, Russian Federation; skdulin@mail.ru

ВИЗУАЛЬНЫЙ ЯЗЫК РЕПРЕЗЕНТАЦИИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ КОНФЛИКТАМИ В ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМАХ

С. Б. Румовская¹, И. А. Кириков²

Аннотация: Гибридные интеллектуальные многоагентные системы (ГиИМАС) с проблемно- и процессно-ориентированными конфликтами и визуальным представлением конфликтологического аспекта релевантны групповой динамике коллектива специалистов различных направлений, решающих проблему. Управление конфликтами в ГиИМАС позволит подавлять деструктивные проявления конфликта и стимулировать конструктивные. Визуализация конфликтной ситуации делает возникшие противоречия контрастными, предоставляя пользователю быстрое понимание того, между какими членами коллектива и на каких этапах возникает конфликт, какого он типа и напряженности, какой метод коллективных рассуждений агентов-специалистов внес наибольший вклад в процесс стимуляции конструктивного конфликта, а также на каком этапе конфликт минимизируется, какие стратегии разрешения конфликтов использовались и какие подгруппы в коллективе агентов формировались. В работе предложен визуальный язык. Синтаксис языка описан с помощью дополненных операторами позиционного синтаксиса расширенных Бэкуса–Наура форм (РБНФ).

Ключевые слова: коллектив специалистов; конфликт агентов; визуальный язык; расширенные Бэкуса–Наура формы; репрезентация управления конфликтами; гибридные интеллектуальные многоагентные системы

DOI: 10.14357/08696527230206

1 Введение

Начиная с XVII в. относительно визуализации высказывались различные точки зрения. В 1637 г. Рене Декарт (Rene Descartes) говорил о том, что представление, созданное воображением, и визуализация играют ключевую роль в научных исследованиях [1]. В 1811 г. Александр фон Гумбольдт (Alexander von Humboldt) высказал мысль о том, что все, что относится к мере и количеству, может быть представлено геометрическими фигурами [2]. В 1987 г. Б. Г. Маккормик (B. H. McCormick), Т. А. ДеФанти (T. A. DeFanti) и М. Д. Браун (M. D. Brown) в отчете по гранту Национального научного фонда (США) № ASC-8712231 определили визуализацию как вычислительный метод, который преобразует

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

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

символическое в геометрическое, позволяя исследователям наблюдать за их моделированием и вычислением — увидеть невидимое [3]. В 1993 г. Б. Роговиц (B. Rogowitz) определил визуализацию как отображение численных значений в пространство перцептивного восприятия [4]. В качестве самостоятельной дисциплины компьютерная визуализация (КВ) оформилась в 1987 г. [3] как методика перевода абстрактных представлений об объектах в геометрические образы для наблюдения результатов компьютерного моделирования явлений и процессов [5]. Компьютерная визуализация изучаемого процесса — это «наглядное представление на экране ЭВМ... скрытого в реальном мире объекта (недоступного для обычного восприятия с помощью органов чувств человека)» [6, с. 18]. Выделяют следующие три подобласти КВ [5]:

- (1) научная (результатов научных вычислений);
- (2) визуализация программного обеспечения (для уяснения понятий и эффективной эксплуатации программного обеспечения и спецификации программ);
- (3) информационная (визуальное представление абстрактной информации, получаемой в процессе сбора и обработки данных).

Визуальные языки используют визуальные значения для передачи понятий и определяются своим словарем, синтаксисом, семантикой и прагматикой [6]. Круг решаемых с помощью них задач широк, как и разнообразие подходов к их формальному описанию [7].

Цель настоящей работы — визуальный язык репрезентации процесса управления конфликтами в ГиИМАС (вторая подобласть КВ), базирующийся на модели процесса управления конфликтами агентов $snfm$ ((2) в [8]) и методах визуализации (МВ): конфликта агентов МВК (mvk) [9], его стимуляции МПШФУК (модифицированная последовательность шагов, описывающих функцию «управление конфликтом», msk) [10] и разрешения МВРК ($mvrk$) [11].

2 Визуальный язык репрезентации процесса управления конфликтами

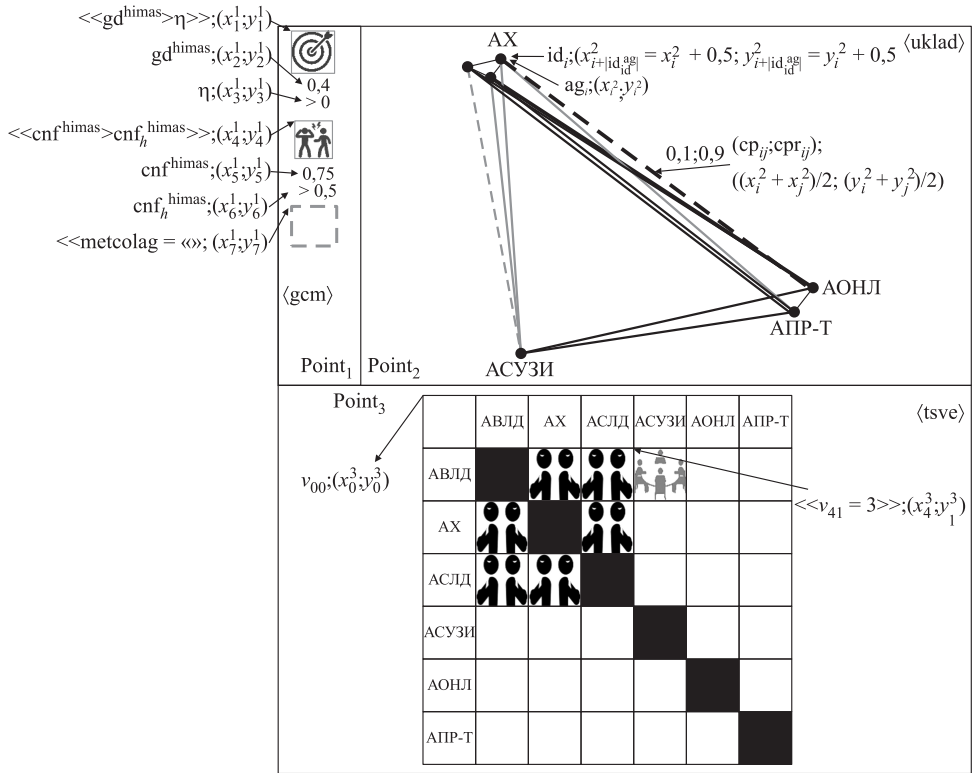
В описании визуального языка будем ссылаться на репрезентацию, представленную на рисунке.

Визуальный язык представим как

$$v|_C = \langle VD_C, VS, VSe, VP \rangle . \quad (1)$$

Здесь VD_C — словарь как набор видов отображения [5] параметров работы модели $snfm$ [8]:

$$VD_C = \langle E, VE, G \rangle, \quad E = \{ \langle n, ev \rangle \}, \\ VE = \{ \langle n_si, si, XY, c : cond_1, l : cond_2, mnp \rangle \}, \quad G : E \xrightarrow{met} VE;$$



Репрезентация промежуточного этапа управления конфликтами с частичным указанием координат и соответствующих им элементов модели процесса управления конфликтами: АХ — хирург; АОНЛ — онколог; АПР-Т — лицо, принимающее решение (терапевт); АСУЗИ, АВЛД и АСЛД — специалисты по ультразвуковому исследованию, лабораторной и лучевой диагностике; $\langle tsve \rangle$, $\langle gcm \rangle$ и $\langle ukklad \rangle$ — обозначения частей репрезентации в синтаксисе языка

VS, VSe и VP — синтаксис (построение репрезентации), семантика (вносит смысловое значение репрезентации) и прагматика (использование репрезентации для детального понимания процесса управления конфликтами) соответственно

$$VS = \langle VE, VN, RULE \rangle;$$

$$VSe = \langle E, G, cnfm, met \rangle;$$

$$VP = \langle SP, \mathbf{VRK}_{1 \times K}, \mathbf{VK}_{1 \times K}, \mathbf{VGD}_{1 \times K}, \mathbf{VCNF}_{1 \times K}, MNP^+ \rangle,$$

где E — множество элементов модели $cnfm$ процесса управления конфликтами агентов [8], заданных переменной n (как имя, $\langle\langle$ условие $\rangle\rangle$ или (формула) и множеством значений ev ; $met = \{mvk, msk, mvrk\}$ — МВ, разработанные в [9–11];

VE — множество графических примитивов, заданных: (1) именем n_si и визуальным примитивом $si \in SI$ (пиктограмма, фигура, подписи); (2) координатами XU на графическом интерфейсе — одна пара координат для левых верхних углов пиктограмм, начала подписей и центров вершин, а также две пары — для ребер графа (координаты их концов) $(x^p, y^p) \in Point_p$, $p = \overline{1, 3}$, $Point_p = Z \times Z$ — множество точек подобласти графического интерфейса, на которой отображается p -я часть репрезентации (см. рисунок), а Z — множество чисел, которые используются для представления координат; (3) цветом $c \in [0, 100]$ по шкале «Оттенки серого»; (4) толщиной линии или размером шрифта $l \in [0, 10]$ пт (c и l определяются при необходимости met , записывая условие в $cond_1$ и $cond_2$ соответственно); (5) множеством возможных манипуляций $mnp \in MNP$ с примитивом на репрезентации, $MNP = \{\text{«щелчок указателя мыши по вершине»}, \text{«щелчок указателя мыши по ребру»}, \text{«щелчок по незаполненной части подобласти } Point_2\text{»}\}$, первое в MNP влечет за собой отображение идентификатора соответствующего агента, второе — напряженностей конфликтов между соответствующей парой агентов, а третье — всех подписей графа конфликта; VN — словарь нетерминальных символов; $RULE$ — множество правил (описаны РБНФ); G задает биективное отображение E на VE ; VSe определяется заданным ниже множеством E , а также моделью $cnfm$ ((2) в [8]) и методами met , разработанными в [9–11]; SP — множество специалистов-пользователей (врачей, например), которые перед запуском работы ГиИМАС установили флаг «необходимости визуализации динамики возможного конфликта»; элемент матрицы $VRK_{1 \times K}$ — матрица $V_{m \times m}$ ($vrk_{1k} = V_{m \times m}$), полученная на k -м цикле управления конфликтом — отображает разрешенные конфликты и стратегии разрешения противоречий, выбранные для применения между парой агентов на очередном шаге работы алгоритма снижения интенсивности и разрешения конфликтов [8]; элемент $VK_{1 \times K}$ — укладка графа конфликтующих агентов, полученная в результате работы МК на k -м шаге алгоритма МПШФУК; k -е элементы матриц VGD и $VCNF$ — значения среднего арифметического показателей взаимозависимости целей агентов gd^{himas} и общего показателя напряженности конфликта в ГиИМАС cnf^{himas} , полученные на k -м шаге алгоритма МПШФУК, соответственно; $MNP^+ = MNP \cup \text{«просмотр сохраненных репрезентаций от 1 до } k\text{-й»}$, $k = \overline{1, K}$, K — число циклов управления конфликтом; n_si , si и XU в VE определены всегда, остальные могут принимать значение \emptyset . Получаем:

$$E = \left\{ \langle ag_i, \{ag_1, \dots, ag_{20}\} \rangle, \left\langle (cpr_{ij} - cpr_{ij})_{ag_i ag_j}, \{\geq 0\} \right\rangle, \right. \\ \left. \left\langle (cpr_{ij} - cpr_{ij})_{ag_i ag_j}, \{> 0\} \right\rangle, \right. \\ \langle id_i^{ag}, \{\langle AX \rangle, \langle АОНЛ \rangle, \langle АЛПР-Т \rangle, \langle АСУЗИ \rangle, \langle АВЛД \rangle, \langle АСЛД \rangle\} \rangle, \\ \left. \left\langle (cpr_{ij}; cpr_{ij}), [-1, 1] \right\rangle, \left\langle \langle gd^{himas} > \eta \rangle, \{true, false\} \right\rangle, \left\langle gd^{himas}, [-1, 1] \right\rangle, \right\}$$

$\langle \langle \text{cnf}^{\text{himas}} \leq \text{cnf}_h^{\text{himas}} \rangle \rangle, \{\text{true}\}, \rangle, \langle \text{cnf}^{\text{himas}}, [0, 1] \rangle,$
 $\langle \langle \text{cnf}^{\text{himas}} > \text{cnf}_h^{\text{himas}} \rangle \rangle, \{\text{true}\}, \rangle, \langle \eta, [-1, 1] \rangle, \langle \text{cnf}_h^{\text{himas}}, [0, 1] \rangle,$
 $\langle \langle \text{metcolag} = \langle \rangle \rangle \rangle, \{\text{true}\}, \rangle,$
 $\langle \langle \text{metcolag} = \langle \text{«мозговой штурм с наводящими вопросами»} \rangle \rangle, \{\text{true}\}, \rangle,$
 $\langle \langle \text{metcolag} = \langle \text{«пул мозговой записи»} \rangle \rangle, \{\text{true}\}, \rangle,$
 $\langle \langle \text{metcolag} = \langle \text{«оспаривание ограничений»} \rangle \rangle, \{\text{true}\}, \rangle,$
 $\langle \langle \text{metcolag} = \langle \text{«конкуренция за вознаграждение»} \rangle \rangle, \{\text{true}\}, \rangle,$
 $\langle \langle \text{metcolag} = \langle \text{«инвертирование целей АС»} \rangle \rangle, \{\text{true}\}, \rangle, \langle v_{ii}, 0 \rangle, \langle v_{00}, \emptyset \rangle,$
 $\langle \langle v_{ij} = 1 \rangle \rangle, \{\text{true}\}, \rangle, \langle \langle v_{ij} = 2 \rangle \rangle, \{\text{true}\}, \rangle, \langle \langle v_{ij} = 3 \rangle \rangle, \{\text{true}\}, \rangle,$
 $\langle \langle v_{ij} = 4 \rangle \rangle, \{\text{true}\}, \rangle, \langle \langle v_{ij} = 5 \rangle \rangle, \{\text{true}\}, \rangle,$
 $\langle \langle v_{ij} = 6 \rangle \rangle, \{\text{true}\}, \rangle, \langle \langle v_{ij} = 7 \rangle \rangle, \{\text{true}\}, \rangle,$
 $\langle v_{0j}, \{ \langle \text{«АХ»}, \langle \text{«АОНЛ»}, \langle \text{«АЛПР-Т»}, \langle \text{«АСУЗИ»}, \langle \text{«АВЛД»}, \langle \text{«АСЛД»} \rangle \} \rangle,$
 $\langle v_{i0}, \{ \langle \text{«АХ»}, \langle \text{«АОНЛ»}, \langle \text{«АЛПР-Т»}, \langle \text{«АСУЗИ»}, \langle \text{«АВЛД»}, \langle \text{«АСЛД»} \rangle \} \rangle \};$
 $\text{VE} = \{ \langle \text{node}, \bullet, (x_i^2; y_i^2), \text{ , , mnp}_i \rangle, \langle \text{edge}_1, \text{---}, ((x_i^2; y_i^2), (x_j^2; y_j^2)), [0, 100] :$
 $c \sim d_{ij}, [0, 10] : l \sim d_{ij}, \text{mnp}_2 \rangle, \langle \text{edge}_2, \text{---}, ((x_i^2; y_i^2), (x_j^2; y_j^2)), [0, 100] :$
 $c \sim d_{ij}, [0, 10] : l \sim d_{ij}, \text{mnp}_2 \rangle, \langle \text{label}, \langle \text{«ev}_{\text{id}_i^{\text{ag}}}, (x_{i+|\text{id}_i^{\text{ag}}|}^2 = x_i^2 +$
 $+ 0,5; y_{i+|\text{id}_i^{\text{ag}}|}^2 = y_i^2 + 0,5) | (x_i^2; y_i^2) \text{ — координаты вершины относятся к верхней}$
 $\text{полуплоскости Point}_2 \text{ ИЛИ } (x_{i+|\text{id}_i^{\text{ag}}|}^2 = x_i^2 + 0,5; y_{i+|\text{id}_i^{\text{ag}}|}^2 = y_i^2 - 0,5) | (x_i^2; y_i^2)$
 $\text{относятся к нижней полуплоскости Point}_2, 100, 10 \rangle, \langle \text{label}_n, \langle \text{«ev}_{\text{cp}_{ij}}; \text{ev}_{\text{cp}_{ij}} \rangle,$
 $(0,5(x_i^2 + x_j^2); 0,5(y_i^2 + y_j^2)), 100, 10 \rangle, \langle \text{pic}_g, \text{⊗}, (x_1^1; y_1^1), 100 : \langle \text{если}$
 $\text{gd}^{\text{himas}} > \eta, \text{ иначе } 50 \rangle \rangle, \langle \text{label}_g, \langle \text{«ev}_{\text{gd}^{\text{himas}}}, (x_2^1; y_2^1), 100, 10 \rangle, \langle \text{pic}_ch,$
 $\text{🤝}, (x_4^1; y_4^1), 100 : \langle \text{если } \text{cnf}^{\text{himas}} < \text{cnf}_h^{\text{himas}}, \text{ иначе } 50 \rangle \rangle, \langle \text{label}_c,$
 $\langle \text{ev}_{\text{cnf}^{\text{himas}}}, (x_5^1; y_5^1), 100, 10 \rangle, \langle \text{pic}_c, \text{👤}, (x_4^1; y_4^1) \rangle, \langle \text{label}_pg, \langle \text{«ev}_{\text{gd}^{\text{himas}}},$
 $x_3^1; y_3^1), 100, 10 \rangle, \langle \text{label}_pc, \langle \text{«} > \text{ ev}_{\text{cnf}_h^{\text{himas}}}, (x_6^1; y_6^1), 100, 10 \rangle, \langle \text{pic}_0, \text{□},$
 $(x_7^1; y_7^1) \rangle, \langle \text{pic}_bs, \text{👤}, (x_7^1; y_7^1) \rangle, \langle \text{pic}_brp, \text{⊗}, (x_7^1; y_7^1) \rangle, \langle \text{pic}_rest, \text{🚫},$
 $(x_7^1; y_7^1) \rangle, \langle \text{pic}_comp, \text{👤}, (x_7^1; y_7^1) \rangle, \langle \text{pic}_inv, \text{↺}, (x_7^1; y_7^1) \rangle, \langle \text{pic}_d, \text{■},$
 $(x_i^3; y_i^3) \rangle, \langle \text{sq}_0, \text{□}, (x_0^3; y_0^3) \rangle, \langle \text{pic}_00, \text{□}, (x_i^3; y_j^3) \rangle, \langle \text{pic}_stop, \text{✖},$
 $(x_i^3; y_j^3) \rangle, \langle \text{pic}_dis, \text{👤}, (x_i^3; y_j^3) \rangle, \langle \text{pic}_dlg, \text{👤}, (x_i^3; y_j^3) \rangle, \langle \text{pic}_vote, \text{👤},$
 $(x_i^3; y_j^3) \rangle, \langle \text{pic}_smod, \text{👤}, (x_i^3; y_j^3) \rangle, \langle \text{pic}_ign, \text{👤}, x_i^3; y_j^3 \rangle, \langle \text{label}_clm, \langle \text{«ev}_{v_{0j}} \rangle,$
 $(x_0^3; (y_{j+1}^3 - y_j^3)/2), 100, 10 \rangle, \langle \text{label}_str, \langle \text{«ev}_{v_{i0}} \rangle, (x_i^3; (y_1^3 - y_0^3)/2), 100, 10 \rangle \}, \text{при-}$

чем ребро, инцидентное i -й и j -й вершинам, соединяет центры этих вершин, координаты которых $(x_i^2; y_i^2)$ и $(x_j^2; y_j^2)$. Матрица $\mathbf{tsve}_{m \times m} = \left\| (x_i^3; y_j^3)_{ij} \right\|$, $i, j = \overline{1, m}$, хранит предзаданные координаты верхних левых углов пиктограмм, являющихся элементами матрицы $\mathbf{V}_{m \times m}$. Вектор-столбец $\mathbf{tsve_clm} = \left\| (x_0^3; y_j^3)_{0j} \right\|$, $j = \overline{1, m}$, и вектор-строка $\mathbf{tsve_str} = \left\| (x_i^3; y_0^3)_{i0} \right\|$, $i = \overline{1, m}$, содержат координаты левых верхних углов квадратов предзаданной размерности, содержащих подписи (id_i^{ag} из v_{0j} и v_{i0}) строк и столбцов таблицы (отображает матрицу $\mathbf{V}_{m \times m}$), соответственно. На примере коллектива агентов, решающего задачу диагностики рака поджелудочной железы, $\text{id}_{\text{id}}^{\text{ag}} = \{ \langle \text{«AX»}, \langle \text{«АОНЛ»}, \langle \text{«АЛПР-Т»}, \langle \text{«АСУЗИ»}, \langle \text{«АВЛД»}, \langle \text{«АСЛД»} \}$. $\text{GCM} = \langle (x_g^1; y_g^1) \rangle$, $g = \overline{1, 7}$, содержит координаты левых верхних точек пиктограмм и начал подписей области Point_1 . Координаты на репрезентации (см. рисунок) рассчитываются (определено в VE) только для подписей вершин и ребер графа конфликтов.

Рассмотрим далее синтаксис визуального языка, описанный с помощью РБНФ [12], дополненных операторами позиционного синтаксиса [13, 14].

3 Синтаксис визуального языка

В нотации РБНФ, согласно [12], используются следующие символы. Правая часть предложения отделяется от левой части равенством $\langle \text{«}=\text{»}$. Конец предложения обозначается точкой $\langle \text{«}.\text{»}$. Варианты разделяются знаком $\langle \text{«}|.\text{»}$. Квадратные скобки $\langle [] \rangle$ означают необходимость записанного внутри них выражения. Фигурные скобки $\langle \{ \} \rangle$ — повторение записанного внутри выражения — возможно, 0 раз или согласно модификатору: $\langle \text{«}*\text{»}$ — выражение в скобках может повторяться ноль или бесконечное число раз; $\langle \text{«}+\text{»}$ — выражение в скобках может повторяться от 1 до бесконечного числа раз; $\langle \text{«}(\text{fr}, \text{to})\text{»}$ — выражение в скобках может повторяться от fr до to числа раз. Круглые скобки $\langle () \rangle$ используются для группировки символов РБНФ (если не задано иначе, то порядок — слева направо). Запись $\langle \text{«}'\text{A}'..'\text{Я}'\text{»}$ означает любой символ в диапазоне от А до Я. Нетерминальные символы и введенные идентификаторы пиктограмм и фигур (последние могут быть определены как терминальные символы, так как не подвергаются дальнейшему разбору) заключены в угловые скобки $\langle \text{«} \langle \text{ и } \rangle \text{»}$ (в стандарте [12] они опущены). Терминальные символы заключаются в одинарные кавычки (например, $\langle \text{«}'\text{,}'\text{»}$). Конкатенация определяется символом $\langle \text{«},\text{»}$ (запятая). Введем дополнительные графические символы: $\langle \text{«}(\text{str}0) = \square \text{»}$ — непрозрачный белый прямоугольник для описания отступов между подписями в Point_1 ; $\langle \text{«}(\text{sq}) = \square \text{»}$ — для организации подписей строк и столбцов таблицы в Point_3 . Расширим грамматику РБНФ операторами:

- $\langle \text{«is under»}$ — первая графическая конструкция (ГК) (левый аргумент (ЛА)), должна следовать сразу под второй (правый аргумент (ПА));

- «contains» — первая ГК (ЛА) содержит вторую (ПА);
- «is associated with» — первая ГК (ЛА) рядом со второй (ПА); используется для «привязки» надписей к линиям (ребрам) и фигурам (вершинам); если надписи у вершин графа конфликта совпадают, то это одна и та же вершина;
- «put» — ГК (ЛА) помещается в координаты, заданные в ПА;
- «is connected to» — первая ГК (ЛА) соединяется со второй (ПА), причем линия (ребро графа) не может соединять фигуру (вершину) с самой собой.

Множество правил RULE синтаксиса VS (1) представлено далее:

```
<representation> = <tsve> is under (<gcm><uklad>).
<gcm> = (<label_g> is under <pic_g>) (<label_pg> is under
<label_g>) (<str0> is under <label_pg>) ((<pic_c>|<pic_ch>) is
under <str0>) (<label_c> is under (<pic_c>|<pic_ch>)) (<label_pc>
is under <label_c>) (<str0> is under <label_pc>) ((<pic_0> |
<pic_bs> | <pic_brp> | <pic_rest> | <pic_comp> | <pic_inv>) is
under <str0>).
<label_g> = '0' | ('0', <num>[<num>]).
<label_c> = <label_g>.
<label_pg> = <label_pc>.
<label_pc> = '>' , <label_g>.
<num> = '0'..'9'.
<uklad> = {<lnode>}(2,20) | {<lnode> {is connected to <edge> is
connected to <lnode>}(0,19)}(1,20).
<lnode> = [(<label> put <coord>) is associated with] (<node> put
<coord>).
<label> = 'A',{- | _ | 'A'..'Я'}(1,5).
<coord> = <coor> , <coor>.
<coor> = <num>|('0'|<num>, ',', <num>[<num>]).
<edge> = (<edge_1> | <edge_2>) [is associated with (<label_n> put
<coord>)].
<label_n> = <label_g> , ';' , <label_g>.
<tsve> = {<t_str> is under <t_str>}(2,20) is under <t_col__name>.
<t_col_name> = <sq_0> , {<sq> contains <label_str>}(2,20).
<t_str> = (<sq> contains <label_clm>) , {<pic_d> | <pic_ign> |
<pic_smod> | <pic_vote> | <pic_dlg> | <pic_dis> | <pic_stop> |
<pic_00>}(2,20) .
<label_str> = <label_clm>.
<label_clm> = <label>.
```

4 Заключение

В работе визуальный язык репрезентации процесса управления конфликтами в ГИИМАС определен своим словарем, синтаксисом, семантикой и прагматикой. Репрезентация интегрирует пиктографическую, визуальную и численную информацию. Конкретный синтаксис языка записан с помощью РБНФ, дополненных операторами позиционного синтаксиса. Прагматика языка позволяет

пользователю просмотреть весь визуальный ряд конфликта между агентами, смену напряженности и стратегии разрешения конфликтов пошагово. В перспективе можно развить визуальный язык, детализировав описание синтаксиса и включив в него координатную привязку подписей такую, чтобы минимизировать наложения на другие элементы.

Литература

1. *Duce D. A., Duke D. J.* Interaction, cognition and visualization // Design, specification and verification of interactive systems / Eds. P. Palanque, R. Bastide. — Vienna: Eurographics, Springer, 1995. P. 1–20. doi: 10.1007/978-3-7091-9437-9_1.
2. *Collins B. M.* Data visualization — has it all been done before? // Animation and scientific visualization: Tools and applications. — New York, NY, USA: Academic Press, 1993. P. 3–28.
3. Visualization in scientific computing / Eds. B. H. McCormick, T. A. DeFanti, M. D. Brown // Computer Graphics, 1987. Vol. 21. No. 6. — New York, NY, USA: ACM SIGGRAPH. 99 p.
4. *Marchak F. M., Cleveland W. S., Rogowitz B. E., Wickens Ch. D.* The psychology of visualization // 4th Conference on Visualization Proceedings. — Los Alamitos, CA, USA: IEEE Computer Society, 1993. P. 351–354.
5. *Авербух В. Л.* К теории компьютерной визуализации // Вычислительные технологии, 2005. Т. 10. Вып. 4. С. 21–51.
6. *Авербух В. Л., Авербух Н. В., Васёв П. А. и др.* Визуализация программного обеспечения на базе средств виртуальной реальности геопространственных данных. Обзор и перспективы разработки // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов, 2020. Т. 331. Вып. 1. С. 195–210. doi: 10.18799/24131830/2020/1/2461.
7. *Степанов П. А.* Модели, алгоритмы и программные средства определения визуальных языков на основе вычислительных моделей: Дис. . . . канд. техн. наук. — СПб., 2019. 239 с.
8. *Листопад С. В., Кириков И. А.* Разрешение конфликтов в гибридных интеллектуальных многоагентных системах // Информатика и её применения, 2022. Т. 16. Вып. 1. С. 54–60. doi: 10.14357/19922264220108.
9. *Румовская С. Б., Кириков И. А.* Метод визуального представления конфликтов в гибридных интеллектуальных многоагентных системах // Информатика и её применения, 2020. Т. 14. Вып. 4. С. 77–82. doi: 10.14357/19922264200411.
10. *Румовская С. Б., Кириков И. А.* Метод визуализации стимуляции конфликтов в гибридных интеллектуальных многоагентных системах // Информатика и её применения, 2021. Т. 15. Вып. 3. С. 75–82. doi: 10.14357/19922264210310.
11. *Румовская С. Б., Кириков И. А.* Метод визуализации снижения интенсивности и разрешения конфликтов в гибридных интеллектуальных многоагентных системах // Информатика и её применения, 2022. Т. 16. Вып. 2. С. 94–101. doi: 10.14357/19922264220212.
12. ISO/IEC 14977:1996(E). <https://www.cl.cam.ac.uk/~mgk25/iso-14977.pdf>.
13. Визуальное моделирование: теория и практика. Лекция 12: Пример предметно-ориентированного визуального языка. <https://intuit.ru/studies/courses/1041/218/lecture/27279>.

14. *Востокин С. В.* Технология моделирования распределенных систем, основанная на визуальном языке, и ее приложения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2004. Т. 6. Вып. 1. С. 185–192.

Поступила в редакцию 27.02.23

A VISUAL LANGUAGE OF THE REPRESENTATION OF THE CONFLICT MANAGEMENT PROCESS IN HYBRID INTELLIGENT MULTIAGENT SYSTEMS

S. B. Rumovskaya and I. A. Kirikov

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

Abstract: Hybrid intelligent multiagent systems (HyIMAS) with problem- and process-oriented conflicts and a visual representation of the conflictological aspect are relevant to the group dynamics of a team of experts in various fields solving the problem. Conflict management in HyIMAS will allow suppressing destructive aspects of conflicts and stimulating the constructive ones. Visualization of a conflict situation makes the arising contradictions contrast visible. It provides the user with a quick understanding of which members of the team and at what stages the conflict occurs, what type and tension it is, which method of collective reasoning of specialist agents has made the greatest contribution to the process of stimulating a constructive conflict, and, also, at what stage the conflict is minimized. Also, it shows all used strategies for resolving conflicts and subgroups in the team of agents. A visual language of the representation is proposed. The syntax of the language is described using extended Backus–Naur forms augmented with positional syntax operators.

Keywords: team of specialists; agent conflict; visual language; extended Backus–Naur forms; conflict management representation; hybrid intelligent multiagent systems

DOI: 10.14357/08696527230206

References

1. Duce, D. A., and D. J. Duke. 1995. Interaction, cognition and visualization. *Design, specification and verification of interactive systems*. Eds. P. Palanque and R. Bastide. Vienna: Eurographics, Springer. 1–20. doi: 10.1007/!978-3-7091-9437-9_1.
2. Collins, B. M. 1993. Data visualization — has it all been done before? *Animation and scientific visualization: Tools and applications*. New York, NY, USA: Academic Press. 3–28.
3. McCormick, B. H., T. A. DeFanti, and M. D. Brown, eds. 1987. Visualization in scientific computing. *Computer Graphics* 21(6). New York, NY: ACM SIGGRAPH. 99 p.

4. Marchak, F. M., W. S. Cleveland, B. E. Rogowitz, and Ch. D. Wickens. 1993. The psychology of visualization. *4th Conference on Visualization Proceedings*. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society. 351–354.
5. Averbukh, V. L. 2005. K teorii komp'yuternoy vizualizatsii [Toward the theory of computer visualization]. *Vychislitel'nye tekhnologii* [Computational Technologies] 10(4):21–51.
6. Averbukh, V. L., N. V. Averbukh, P. A. Vasev, et al. 2020. Vizualizatsiya programmnoogo obespecheniya na baze sredstv virtual'noy real'nosti geoprostranstvennykh dannyykh. Obzor i perspektivy razrabotki [Software visualization of geospatial data based on virtual reality systems. Survey and future developments]. *Izvestiya TPU. Inzhiniring georesurosov* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering] 331(1):195–210. doi: 10.18799/24131830/2020/1/2461.
7. Stepanov, P. A. 2019. Modeli, algoritmy i programmnye sredstva opredeleniya vizual'nykh yazykov na osnove vychislitel'nykh modeley [Models, algorithms, and software tools for determining visual languages based on computational models]. Saint Petersburg. D.Sc. Diss. 239 p.
8. Listopad, S. V., and I. A. Kirikov. 2022. Razreshenie konfliktov v gibridnykh intellektual'nykh mnogoagentnykh sistemakh [Conflict resolution in hybrid intelligent multiagent systems]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 16(1):54–60. doi: 10.14357/19922264220108.
9. Rumovskaya, S. B., and I. A. Kirikov. 2020. Metod vizual'nogo predstavleniya konfliktov v gibridnykh intellektual'nykh mnogoagentnykh sistemakh [Conflict visual representation method in hybrid intelligent multiagent systems]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 14(4):77–82. doi: 10.14357/19922264200411.
10. Rumovskaya, S. B., and I. A. Kirikov. 2021. Metod vizualizatsii stimulyatsii konfliktov v gibridnykh intellektual'nykh mnogoagentnykh sistemakh [Visual representation method for the conflict stimulation in hybrid intelligent multiagent systems]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 15(3):75–82. doi: 10.14357/19922264210310.
11. Rumovskaya, S. B., and I. A. Kirikov. 2022. Metod vizualizatsii snizheniya intensivnosti i razresheniya konfliktov v gibridnykh intellektual'nykh mnogoagentnykh sistemakh [Visual representation of the decrease in conflict intensity and its resolution in hybrid intelligent multiagent systems]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 16(2):94–101. doi: 10.14357/19922264220212.
12. ISO/IEC 14977:1996(E). Available at: <https://www.cl.cam.ac.uk/~mgk25/iso-14977.pdf> (accessed April 17, 2023).
13. Vizual'noe modelirovanie: Teoriya i praktika. Lektsiya 12: Primer predmetno-orientirovannogo vizual'nogo yazyka [Visual modeling: Theory and practice. Lecture 12: An example of a domain-specific visual language]. Available at: <https://intuit.ru/studies/courses/1041/218/lecture/27279> (accessed April 17, 2023).
14. Vostokin, S. V. 2004. Tekhnologiya modelirovaniya raspredelennykh sistem, osnovannaya na vizual'nom yazyke, i ee prilozheniya [Technology for modeling distributed systems based on visual language and its applications]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences] 6(1):185–192.

Received February 27, 2023

Contributors

Rumovskaya Sophiya B. (b. 1985) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior scientist, Kaliningrad Branch of the Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 5 Gostinaya Str., Kaliningrad 236000, Russian Federation; sophiyabr@gmail.com

Kirikov Igor A. (b. 1955) — Candidate of Science (PhD) in technology, director, Kaliningrad Branch of the Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 5 Gostinaya Str., Kaliningrad 236000, Russian Federation; baltbipiran@mail.ru

ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫЕ СВЯЗИ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА НЕНАБЛЮДАЕМЫХ СВОЙСТВ ПРОЦЕССОВ

*А. А. Грушо¹, М. И. Забейхайло², В. В. Кульченков³, Д. В. Смирнов⁴,
Е. Е. Тимонина⁵, С. Я. Шоргин⁶*

Аннотация: При реализации информационных технологий (ИТ) возникают последовательности объектов, которые можно идентифицировать, но свойства которых трудно или невозможно наблюдать. В некоторых объектах такой последовательности может появляться ненаблюдаемое свойство A , выявление которого представляет интерес. Для выявления объектов со свойством A приходится использовать поиск следствий свойства A как причины появления таких следствий. Если рассматривается последовательность объектов, в которой могут появиться объекты со свойством A , то возникают задачи оценки вероятности существования ложных объектов с выявленным свойством A , когда его на самом деле нет (ложные тревоги), и оценки вероятности пропуска объекта со свойством A . В работе использована детерминированность появления следствий при возникновении причины, если существует взаимодействие объекта, содержащего причину, с объектом, содержащим наблюдаемое следствие. При этом допускается существование шума, который затрудняет наблюдение следствия, когда оно есть, и может создать ложное следствие, когда причина отсутствует. Построенная в работе методология оценки вероятности выявления объектов со свойством A достаточно проста в использовании, но имеет важное значение в оценке разрешимости задачи поиска.

Ключевые слова: причинно-следственные связи; вероятностный анализ ошибок; поиск свойства в ненаблюдаемых данных

DOI: 10.14357/08696527230207

1 Введение

При реализации ИТ могут возникать последовательности объектов, которые можно идентифицировать, но свойства которых трудно или невозможно наблю-

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

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

³Банк ВТБ (ПАО), vlad.kulchenkov@gmail.com

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

дать. В некоторых объектах такой последовательности могут появляться свойства, выявление которых представляет интерес. Такие свойства могут служить причиной появления следствий в процессах, наблюдаемых в различных информационных пространствах [1]. Отслеживая появление таких следствий и используя причинно-следственные связи, можно судить о появлении причины [2]. Основное свойство причинно-следственных связей состоит в детерминированности появления следствий при возникновении причины и наличии взаимодействия между объектом, содержащим причину, и объектом, содержащим следствие [3]. Например, не все ИТ досконально отслеживаются службой информационной безопасности (ИБ). Однако при появлении признаков атаки или мошенничества в наблюдаемых процессах мониторинга принимается решение о существовании опасности [4], т. е. наблюдаемые события являются следствием нарушения ИБ в ненаблюдаемых объектах одной из выполняемых ИТ.

В банковской сфере, рассматривая последовательность заявок на получение кредита, необходимо выявлять клиентов, представивших неправильные данные о своем финансовом состоянии, т. е. данные клиента можно рассматривать как ненаблюдаемый с точки зрения достоверности объект, который может содержать причину отказа в выдаче кредита. Идентификация наличия причины невыдачи кредита находится в следствиях, которые можно найти в дополнительной информации о клиенте в специальных базах данных вне банка.

Приведем еще пример, который связан с утечками конфиденциальной информации. Пусть противник использует для кражи ценной информации скрытый канал [5]. По определению служба безопасности не может непосредственно наблюдать функционирование этого канала, однако функционирование скрытого канала порождает события в различных процессах, позволяющих сделать заключение о его существовании. Причина утечки конфиденциальной информации — это скрытый канал, который выявляется через следствия, доступные для наблюдения в других информационных пространствах. При этом некоторые признаки скрытого канала настолько малозаметны, что решение о дальнейших действиях надо принимать по множеству наблюдаемых признаков [6].

В работе рассматривается задача вероятностной оценки возможности выявления в объектах некоторой последовательности наличия или отсутствия ненаблюдаемого свойства, которое становится причиной ряда следствий. Именно по следствиям искомого свойства как причины, которые удастся наблюдать в процессах других информационных пространств, взаимодействующих с анализируемым объектом, удастся выявлять наличие этого свойства. Поток объектов считается дискретным, а наблюдаемые информационные пространства могут независимо друг от друга вносить шум, который может скрыть появление некоторых следствий или породить объекты, где случайно определяются искомые следствия. Считаем, что предварительные исследования позволили выявить искомые следствия интересующей нас причины [2].

При длительном наблюдении за объектами последовательности, в которых возможно появление искомого свойства, надо допускать появление ложных тре-

вог [7, 8]. Следует избегать такой ситуации, так как в условиях ненаблюдаемых свойств объектов исследуемого процесса трудно проверить, является ли тревога ложной. Таким образом, считаем, что есть последовательность идентифицируемых информационных объектов с неизвестными свойствами, в которой некоторые объекты могут обладать интересующим нас свойством.

2 Вероятностный анализ задачи выявления причины по следствиям

Рассмотрим фиксированную последовательность длины N однородных объектов, которые реализуются в течение ограниченного отрезка времени. В последовательности возможно появление объектов O , в которых имеется свойство A . Для выявления свойства A возможно наблюдение параллельных процессов в информационных пространствах U_1, U_2, \dots, U_k , которые имеют физическую связь с объектами исходной последовательности и в которых может возникнуть следствие свойства A .

Предположим, что предварительное исследование показало, что свойство A стало причиной появления следствий B_1, B_2, \dots, B_k в соответствующих пространствах U_1, U_2, \dots, U_k . Это означает, что в случае появления в исходной последовательности объекта O , содержащего A , в пространствах U_1, U_2, \dots, U_k возникнут соответствующие объекты B_1, B_2, \dots, B_k . Однако в каждом из этих пространств действует независимый шум, который может скрыть от наблюдателя появление соответствующего следствия причины A или, наоборот, показать появление такого следствия, когда A отсутствует.

Для простоты будем считать, что проявление шума во всех пространствах U_1, U_2, \dots, U_k одинаково, т. е. невыявление следствия, когда свойство A присутствует в анализируемом объекте, происходит независимо от остальных процессов с вероятностью $1 - p$, а выявление такого следствия, когда свойство A в анализируемом объекте отсутствует, происходит независимо с вероятностью q . Кроме того, предположим, что появление в исходной последовательности очередного объекта со свойством A происходит независимо с вероятностью f . На основании этих предположений и условий независимости можно выписать вероятности появления s из k следствий причины A . Если причина A возникновения следствий присутствует в анализируемом объекте, то

$$P_1(s) = \binom{k}{s} p^s (1-p)^{k-s}, \quad (1)$$

или, если причина A в анализируемом объекте отсутствует, то

$$P_0(s) = \binom{k}{s} q^s (1-q)^{k-s}. \quad (2)$$

Используя формулы (1) и (2), можно определить порог принятия решения о наличии A или отсутствии A (будем обозначать отсутствие A через \bar{A}). Обозна-

чим через $\{v(A) \geq s\}$ событие, по которому принимается решение о наличии A . Тогда вероятность события $\{v(A) \geq s\}$ при условии наличия A равна

$$P_1 = P(v(A) \geq s|A) = \sum_{i=s}^k P_1(i). \quad (3)$$

В случае \bar{A} принятие ложной тревоги о появлении A описывается вероятностью

$$P_0 = P(v(A) \geq s|\bar{A}) = \sum_{i=s}^k P_0(i). \quad (4)$$

Как было указано во введении, целью исследования ставится оценка длины последовательности до появления ложной тревоги и оценка возможности потери объекта с причиной A . Приведенные формулы (3) и (4) позволяют получить эти оценки.

Формула (4) позволяет оценить сверху математическое ожидание E_0 числа членов последовательности до появления первой ложной тревоги, а именно: математическое ожидание числа членов последовательности из бесконечной последовательности до появления первой ложной тревоги

$$E_0 \leq \frac{1}{P_0}. \quad (5)$$

Неравенство (5) в оценке нужного математического ожидания получается за счет замены конечной последовательности на бесконечную.

Тогда математическое ожидание длины последовательности объектов N^* , не содержащих A и ложных тревог, находится из неравенства (5) и равенства

$$E_0 = EN^*(1 - f).$$

Из ограничения $N \leq EN^*$ получим оценку, при выполнении которой не ожидается появления ложных тревог.

На длине последовательности N^{**} вероятность P существования хотя бы одного пропущенного объекта, содержащего A , равна

$$P = 1 - P_1^{N^{**}}.$$

Так как появление объектов со свойством A управляется схемой Бернулли с вероятностью f , то

$$\begin{aligned} P(N^{**} = 0) &= (1 - f)^N; \\ P(N^{**} = 1) &= (1 - f)^N + \binom{k}{1} f(1 - f)^{N-1}. \end{aligned}$$

Для достаточно больших N и малых f , таких что $Nf = \lambda$, можно полагать, что с большой вероятностью число N^{**} распределено по закону Пуассона с параметром λ . Отсюда следует, что при достаточно больших N с вероятностью $e^{-\lambda}$ выполняется неравенство

$$P \leq 1 - (P_1)^0,$$

а с вероятностью $(\lambda/1)e^{-\lambda}$ выполняется неравенство

$$P \leq 1 - (P_1)^1$$

и т. д.

Построим простейшие оценки для значений параметров, которые кажутся правдоподобными. Пусть число следствий $k = 4$; порог принятия положительного решения $s = 2$; вероятность выявления следствия, когда оно есть, $p = 2/3$; вероятность выявления следствия, когда причина отсутствует, $q = 1/100$; вероятность появления объекта со свойством A — $f = 1/25$; длина всей последовательности объектов $N = 100$. При этих значениях параметров

$$P_1 = \frac{8}{9}; \quad P_0 = \frac{6}{10^4}.$$

Граничное значение N , при котором не ожидается ложной тревоги, составляет 1667. Вероятность пропустить объект со свойством A при $N^{**} = \lambda = 4$ оценивается величиной 0,346, а при $N^{**} = 5$ эта вероятность равна 0,446.

Большая вероятность пропуска A связана с высокой вероятностью шума и ожидаемо малым числом объектов со свойством A . Когда вероятность искажения следствия мала, вероятность пропуска искомого свойства быстро стремится к 0.

3 Заключение

Невозможность наблюдать интересующее свойство A в идентифицированном объекте возникает часто в самых разных ИТ. Для выявления объектов со свойством A приходится использовать поиск следствий свойства A как причины появления таких следствий. Если рассматривается последовательность объектов, в которой могут появиться объекты со свойством A , то возникают задачи оценки вероятности существования ложных объектов с выявленным свойством A , когда его на самом деле нет (ложные тревоги), и оценки вероятности пропуска объекта со свойством A .

В работе использована детерминированность появления следствий при возникновении причины, если существует взаимодействие объекта, содержащего причину, с объектом, содержащим наблюдаемое следствие. При этом допускается существование шума, который затрудняет наблюдение следствия, когда оно

есть, и может создать ложное следствие, когда причины нет. В этих условиях построена методология оценок возможностей выявления объектов с ненаблюдаемым свойством A .

Построенная методология достаточно проста в использовании, но имеет важное значение в оценке разрешимости задачи поиска.

Литература

1. *Grusho A., Grusho N., Timonina E.* Method of several information spaces for identification of anomalies // *Intelligent distributed computing XIII* / Eds. I. Kotenko, C. Badica, V. Desnitsky, D. El Baz, M. Ivanovic. — *Studies in computational intelligence ser.* — Cham: Springer, 2020. Vol. 868. P. 515–520. doi: 10.1007/978-3-030-32258-8_60.
2. *Грушо А. А., Грушо Н. А., Забейайло М. И., Кульченков В. В., Тимонина Е. Е., Шоргин С. Я.* Причинно-следственные связи в задачах классификации // *Информатика и её применения*, 2023. Т. 17. Вып. 1. С. 43–49. doi: 10.14357/19922264230106.
3. *Грушо А. А., Грушо Н. А., Забейайло М. И., Зацаринный А. А., Тимонина Е. Е., Шоргин С. Я.* Задача классификации в условиях искаженных причинно-следственных связей // *Системы и средства информатики*, 2023. Т. 33. № 1. С. 59–67. doi: 10.14357/08696527230106.
4. *Грушо А. А., Забейайло М. И., Зацаринный А. А., Тимонина Е. Е.* О некоторых возможностях управления ресурсами при организации проактивного противодействия компьютерным атакам // *Информатика и её применения*, 2018. Т. 12. Вып. 1. С. 62–70. doi: 10.14357/19922264180108.
5. *Грушо А. А., Грушо Н. А., Тимонина Е. Е.* Методы защиты информации от атак с помощью скрытых каналов и враждебных программно-аппаратных агентов в распределенных системах // *Вестник РГГУ. Сер. Документоведение и архивоведение. Информатика. Защита информации и информационная безопасность*, 2009. № 10. С. 33–45.
6. *Грушо А. А., Грушо Н. А., Тимонина Е. Е.* Методы выявления «слабых» признаков нарушений информационной безопасности // *Информатика и её применения*, 2019. Т. 13. Вып. 3. С. 3–8. doi: 10.14357/19922264190301.
7. *Axelsson S.* The base-rate fallacy and the difficulty of intrusion detection // *ACM T. Inform. Syst. Se.*, 2000. Vol. 3. No. 3. P. 186–205. doi: 10.1145/357830.357849.
8. *Grusho A., Grusho N., Timonina E.* The bans in finite probability spaces and the problem of small samples // *Distributed computer and communication networks* / Eds. V. Vishnevskiy, K. Samouylov, D. Kozyrev. — *Lecture notes in computer science ser.* — Cham: Springer, 2019. Vol. 11965. P. 578–590. doi: 10.1007/978-3-030-36614-8_44.

Поступила в редакцию 15.03.23

CAUSE-AND-EFFECT RELATIONSHIPS IN ANALYSIS OF UNOBSERVABLE PROCESS PROPERTIES

*A. A. Grusho*¹, *M. I. Zabezhailo*¹, *V. V. Kulchenkov*², *D. V. Smirnov*³,
*E. E. Timonina*¹, and *S. Ya. Shorgin*¹

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

²VTB Bank, 43-1 Vorontsovskaya Str., Moscow 109147, Russian Federation

³Sberbank of Russia, 19 Vavilov Str., Moscow 117999, Russian Federation

Abstract: When implementing information technology, there exist sequences of objects that can be identified but it is difficult or impossible to observe their properties. In some objects of such sequences, an unobservable property A may appear, the detection of which is of interest. To identify objects with property A , one has to use the search for the effects of property A as the cause of such effects. If one considers a sequence of objects in which objects with property A may appear, then there are problems of assessing the probability of the existence of false objects with the identified property A when it actually does not exist (false alarms) and estimating the probability of skipping the object with property A . The work uses the determinism of the occurrence of effects when the cause appears, if there is an interaction of the object containing the cause with the object containing the observed effect. In this case, the existence of noise is allowed which makes it difficult to observe the effect when it is, and can create a false effect when the cause is absent. The methodology for assessing the probability of identifying objects with property A constructed in the work is quite easy to use but is important in assessing the solvability of a search problem.

Keywords: cause-and-effect relationships; probabilistic error analysis; searching for the property in unobservable data

DOI: 10.14357/08696527230207

References

1. Grusho, A., N. Grusho, and E. Timonina. 2020. Method of several information spaces for identification of anomalies. *Intelligent distributed computing XIII*. Eds. I. Kotenko, C. Badica, V. Desnitsky, D. El Baz, and M. Ivanovic. Studies in computational intelligence ser. Cham: Springer. 868:515–520. doi: 10.1007/978-3-030-32258-8_60.
2. Grusho, A. A., N. A. Grusho, M. I. Zabezhailo, V. V. Kul’chenkov, E. E. Timonina, and S. Ya. Shorgin. 2023. Prichinno-sledstvennyye svyazi v zadachakh klassifikatsii [Causal relationships in classification problems]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 17(1):43–49. doi: 10.14357/19922264230106.
3. Grusho, A. A., N. A. Grusho, M. I. Zabezhailo, A. A. Zatsarinny, E. E. Timonina, and S. Ya. Shorgin. 2023. Zadacha klassifikatsii v usloviyakh iskazhennykh prichinno-sledstvennykh svyazey [The classification problem in conditions of distorted cause-and-effect relationships]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 33(1):59–67. doi: 10.14357/08696527230106.
4. Grusho, A. A., M. I. Zabezhailo, A. A. Zatsarinny, and E. E. Timonina. 2018. O nekotorykh vozmozhnostyakh upravleniya resursami pri organizatsii proaktivnogo proti-

- vodeystviya komp'yuternym atakam [On some possibilities of resource management for organizing active counteraction to computer attacks]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 12(1):62–70. doi: 10.14357/19922264180108.
5. Grusho, A. A., N. A. Grusho, and E. E. Timonina. 2009. Metody zashchity informatsii ot atak s pomoshch'yu skrytykh kanalov i vrazhdebnykh programmno-apparatnykh agentov v raspredelennykh sistemakh [Information security methods from the attacks by means of the covert channels and hostile hardware–software agents in distributed systems]. *Vestn. RGGU. Ser. Dokumentovedenie i arkhivovedenie. Informatika. Zashchita informatsii i informatsionnaya bezopasnost'* [RGGU Bull. Ser. Document science and archive science. Informatics. Information security and information security] 10:33–45.
 6. Grusho, A. A., N. A. Grusho, and E. E. Timonina. 2019. Metody vyavleniya “slabykh” priznakov narusheniy informatsionnoy bezopasnosti [Methods of identification of “weak” signs of violations of information security]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 13(3):3–8. doi: 10.14357/19922264190301.
 7. Axelsson, S. 2000. The base-rate fallacy and the difficulty of intrusion detection. *ACM T. Inform. Syst. Se.* 3(3):186–205. doi: 10.1145/357830.357849.
 8. Grusho, A., N. Grusho, and E. Timonina. 2019. The bans in finite probability spaces and the problem of small samples. *Distributed computer and communication networks*. Eds. V. M. Vishnevskiy, K. E. Samouylov, and D. V. Kozyrev. Lecture notes in computer science ser. Cham: Springer. 11965:578–590. doi: 10.1007/978-3-030-36614-8_44.

Received March 15, 2023

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

Zabezhailo 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.zabezhailo@yandex.ru

Kulchenkov Vladislav V. (b. 1989) — head of risk monitoring department, VTB Bank, 43-1 Vorontsovskaya Str., Moscow 109147, Russian Federation; vlad.kulchenkov@gmail.com

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

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ КЛЮЧЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОРГАНИЗАЦИЙ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СФЕРЫ

А. А. Зацаринный¹, Ю. С. Ионенков²

Аннотация: Представлен методический подход к выбору ключевых показателей эффективности (key performance indicators, KPI) для оценки организаций информационно-технологической (information and technology, IT) сферы. Показано значение KPI в оценке эффективности деятельности организаций. Представлены основные подходы к выбору номенклатуры KPI, включая виды таких показателей и требования к ним. Разработаны предложения по номенклатуре KPI применительно к организациям IT-сферы. Предложено использовать три вида показателей: целевые, функциональные и финансовые. Сформулированы предложения по методам расчета отдельных показателей.

Ключевые слова: информационная система; ключевые показатели эффективности; целевые показатели; функциональные показатели; финансовые показатели

DOI: 10.14357/08696527230208

1 Введение

В настоящее время задача автоматизации деятельности с помощью информационных систем (ИС) стала основным направлением развития любой организационной системы. Вместе с тем при внедрении ИС существует ряд рисков в части получения требуемого функционала системы, соблюдения сроков и бюджета проекта. Реализация современных IT-проектов — процесс сложный, требующий принятия важных управленческих решений в сжатые сроки, основываясь на анализе большого объема информации. В данном контексте проблема выбора исполнителей IT-проектов приобретает особую важность.

В таких условиях главной задачей становится поиск методов, которые позволят предприятию достигать поставленных целей, используя новое понимание мотивационных подходов. Один из таких подходов — применение ключевых показателей эффективности.

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

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

Ключевые показатели эффективности — это числовые показатели деятельности, которые помогают измерить степень достижения целей или оптимальности процесса. Ключевые показатели эффективности — система оценки, применяемая для контроля и оценки работы отдельных сотрудников, подразделений и компаний, а также для определения степени достижения тактических и стратегических целей. Она играет важную роль и в области информационных технологий, позволяя повышать прозрачность, эффективность и управляемость. Система широко используется в мире, хотя применительно к ИТ-сфере однозначно не определено, какие конкретно показатели нужно выбирать. Для оценки эффективности ИС служат различные показатели, причем применение тех или иных показателей связано с функциями предприятия (организации), а также с уровнем зрелости самого ИТ-подразделения в организации.

Важность системы показателей подтверждает тот факт, что Правительством России в конце 2020 г. утверждены рекомендации по ключевым показателям эффективности для оценки работы госкорпораций и институтов развития [1]. В новой системе показателей приоритеты смещены от финансовых показателей к параметрам, более точно характеризующим достижение поставленных Президентом национальных целей. Важность разработки инструментов оценки результативности проектов подчеркнута и в материалах заседания Совета по науке и образованию 8 февраля 2023 г. [2], проведенного под руководством Президента РФ.

В статье рассматриваются основные положения подхода к выбору KPI для оценки деятельности организаций, а также сформулированы предложения по номенклатуре KPI применительно к организациям ИТ-сферы.

2 Основные положения подхода к оценке деятельности организаций на основе ключевых показателей эффективности

Метод KPI базируется на системе сбалансированных показателей (Balanced Scorecard, BSC), т. е. на популярном методе стратегического управления с комплексным подходом для достижения целей. Управление по целям — метод управленческой деятельности, предусматривающий предвидение возможных результатов деятельности и планирование путей достижения результатов.

Основоположником «Управления по целям», а также системы оценки достижения результатов-целей через KPI считается Питер Друкер [3]. Современным воплощением управления по целям стала «Система ключевых показателей эффективности», включающая в себя множество управленческих концепций, которые появились за последние 20–30 лет и дополняют классическое «Управление по целям». По мнению Питера Друкера, лишь немногие области менеджмента имеют такое большое влияние на организацию, как оценка деятельности подразделений и компании в целом. Однако такая оценка, подчеркивает Друкер, сегодня одна из самых слабо проработанных областей управления.

Система КРІ должна соответствовать следующим важнейшим задачам [4, 5]:

- измерять результаты деятельности организации;
- обеспечивать ясность стратегических задач;
- фокусироваться на ключевых процессах и критических показателях;
- сигнализировать об улучшении показателей деятельности;
- идентифицировать критические факторы, требующие внимания;
- предоставлять четкую основу для идентификации достижения результатов и соответствующего поощрения.

В отношении КРІ часто используют термин «метрики результатов» — т. е. метрики, благодаря которым организации измеряют успех в достижении целей.

В современной научно-технической литературе КРІ делятся на несколько видов:

- целевые (степень или индикаторы приближения к цели);
- функциональные (степень решения текущих задач);
- финансовые (как критерий экономической эффективности).

Эти виды показателей, в свою очередь, делятся на индивидуальные (показатели личной результативности и эффективности каждого работника) и коллективные (показатели, которые характеризуют общие для подразделения (организации в целом) результаты, количественные (измеримые) и качественные (представленные в виде баллов или рейтинга)). Выделяются также показатели запаздывающие, которые отражают результаты деятельности по истечении определенного периода, и опережающие, которые дают возможность управлять ситуацией в пределах отчетного периода с целью достижения заданных результатов по его истечении.

Ключевые показатели эффективности должны быть напрямую связаны с тактическими и стратегическими целями организации и целями конкретного функционального отдела организации. Показатели позволяют оценить эффективность выполняемых действий организацией в целом, отдельными структурными подразделениями и каждым конкретным сотрудником. Система КРІ используется и в работе государственных органов РФ. В частности, в мае 2022 г. Минцифры РФ сообщило о создании новой методики оценки эффективности и результативности руководителей цифровой трансформации различных министерств и ведомств. В соответствии с новой методикой при оценке руководителей учитываются:

- степень достижения показателей результативности цифровой трансформации;
- финансовая дисциплина исполнения ведомственных программ цифровой трансформации;
- оперативный рейтинг выполнения показателей эффективности и результативности руководителей.

Выделяют следующие требования к КРІ [5, 6]:

- ориентированность на стратегические цели;
- достоверность: информация, используемая для вычисления КРІ, должна носить объективный характер и быть полной;
- необходимый уровень сложности вычисления: расчет КРІ должен быть понятен сотрудникам;
- достижимость планируемого значения КРІ;
- контролируемость: необходимо обеспечить возможность проверки рассчитанного результата;
- взаимосвязанность и работа на общий результат: КРІ должны быть разработаны таким образом, чтобы не создавать конфликты и нездоровую конкуренцию в организации, сотрудники должны работать единой командой, сообщая на общие цели.

Внедрение показателей КРІ позволяет постоянно совершенствовать качество решаемых организацией задач и оказываемых услуг и в целом положительно отражается на эффективности работы организации. При этом очень важно организовать сбор статистики, анализ накопленных данных, выработку направленных на улучшение решений (постановка целей) по тому или иному процессу, внедрение улучшений, контроль полученных результатов улучшений.

3 Предложения по номенклатуре ключевых показателей эффективности применительно к организациям информационно-технологической сферы

Исходя из изложенных выше общих подходов к оценке деятельности организаций на основе КРІ, включая задачи показателей, требования к ним и их виды, могут быть сформулированы следующие предложения по номенклатуре КРІ применительно к организациям ИТ-сферы.

Предлагается использовать три вида КРІ: целевые, функциональные и финансовые.

Число КРІ по каждому из видов в соответствии с рекомендациями [1] не должно превышать 4–6, при этом должна учитываться специфика конкретной организации. Возможный вариант номенклатуры КРІ представлен в таблице.

Представленные показатели эффективности могут быть сведены в несколько групп:

- уровень (степень) соответствия требуемым (плановым) показателям. Эти показатели характеризуют соотношение между желательным и достигнутым значением показателя эффективности;
- количественные (числовые) показатели, характеризующие работу и развитие ИС;

Номенклатура КРІ (вариант)

Ключевые показатели эффективности		
Целевые	Функциональные	Финансовые
<ul style="list-style-type: none"> – Ц₁ — рост числа реализованных задач – Ц₂ — повышение качества обслуживания запросов – Ц₃ — степень удовлетворения пользователей ИТ-услугами – Ц₄ — увеличение числа единиц оборудования на одного сервис-инженера 	<ul style="list-style-type: none"> – Ф₁ — коэффициент готовности информационной системы – Ф₂ — коэффициент готовности рабочих мест пользователей – Ф₃ — число инцидентов на ИТ-инфраструктуре – Ф₄ — время ответа на запросы пользователей 	<ul style="list-style-type: none"> – С₁ — эффективность инвестиций в ИТ – С₂ — доля затрат на ИТ от общих затрат организации – С₃ — затраты на поддержку одного пользователя – С₄ — выгода от перехода на новую платформу или новые технологии

- временные показатели, характеризующие обеспечение потребностей пользователей ИС;
- показатели, характеризующие эффективность финансовой деятельности.

Показатели, характеризующие уровень (степень) соответствия ИС требуемым (плановым) показателям, определяются как отношение реального значения показателя N к требуемому либо плановому значению $N_{\text{ТР}}$:

$$P_i = \frac{N}{N_{\text{ТР}}}.$$

К таким показателям относятся представленные в таблице показатели Ц₃, С₂, С₃ и С₄.

К количественным (числовым) и временным показателям относятся показатели Ц₁, Ц₂, Ц₄, Ф₃ и Ф₄ из таблицы. Для этих показателей в качестве цифровых индикаторов используется динамика (прирост) показателя в текущем периоде по отношению к предыдущему периоду:

$$P_i = \frac{P_n - P_{n-1}}{P_{n-1}},$$

где P_n — значение целевого показателя за текущий период; P_{n-1} — значение показателя за предшествующий период.

Для расчета показателей Ф₁ и Ф₂ может быть применена типовая формула для коэффициента готовности изделия

$$K_{\Gamma} = \frac{T_o}{T_o + T_B},$$

где K_r — коэффициент готовности изделия; T_o — среднее время наработки изделия на отказ; T_b — среднее время восстановления работоспособности.

Для оценки инвестиций в ИТ-сфере (C_1) разработан целый ряд методик, которые можно условно объединить в четыре группы [7]:

- (1) классические методы, предполагающие определение показателей, такие как чистый приведенный доход (Net Present Value, NPV), внутренняя норма доходности (Internal Rate of Return, IRR), возврат инвестиций (Return of Investment, ROI), срок окупаемости (Payback), добавленная стоимость (Economic Value Added, EVA), оценка издержек и экономических выгод (Cost Benefit Analysis, CBA), анализ «затраты–эффективность» (Cost-Effectiveness Analysis, CEA);
- (2) затратные методы оценки, такие как определение совокупной стоимости владения (Total Cost of Ownership, TCO), истинная стоимость владения (Real Cost of Ownership, RCO), совокупная стоимость владения приложениями (Total Cost of Application Ownership, TCA), калькуляция себестоимости по видам деятельности (Activity based costing, ABC);
- (3) комплексные методы оценки — информационная экономика (Information Economics) и экспертные оценки;
- (4) учет вариабельности и рисков ИТ-проектов (вероятностные методы оценки рисков (Real Options Valuation, ROV), метод освоенного объема.

Достаточно подробное описание этих методик представлено, например, в [7]. Во всех методиках используется понятие дохода от деятельности соответствующей ИС.

Применительно к коммерческим ИС определение этих показателей не составляет трудностей, ибо их функционирование направлено на получение доходов. В то же время следует отметить, что ИС в интересах государственного управления не предназначены для получения доходов в денежной форме.

Исходя из этого, представляется, что для оценки инвестиций в ИТ-сфере применительно к таким видам систем необходимо определить подходы к переводу эффекта, обеспечиваемого этими системами, в стоимостную форму. Для ИС, в которых внедрение новых решений и технологий обеспечивает сокращение количества аппаратно-программных средств в системе, в качестве аналога дохода целесообразно принять стоимость этих аппаратно-программных средств. Для ИС, в которых внедрение новых решений и технологий приводит к сокращению персонала (аналитиков, операторов и т. п.), в качестве аналога дохода целесообразно использовать сокращение затрат на содержание данного персонала.

Таким образом, благодаря системе КРІ можно ставить четкие цели как по выполнению функциональных задач организации, так и по ее финансовым показателям. Анализируя изменения показателей КРІ и их зависимость друг от друга, можно определить сильные и слабые стороны организации. Субъективно оценить эффективность деятельности организации бывает сложно, поэтому нужны четко

определенные критерии, чтобы видеть связь между плановыми показателями, уровнем исполнения задач персоналом и полученными результатами.

4 Заключение

Для стратегического управления внедрение системы КРІ имеет ключевое значение. Ключевые показатели эффективности — это инструмент измерения поставленных целей. Показатели, используемые для управления и оценки деятельности организации, должны быть четко связаны с ее целями.

Система управления организацией на основе КРІ позволяет достичь цели организации, помогая руководителям более эффективно управлять имеющимися ресурсами в ключевых областях деятельности на основе информации об экономической и оперативной деятельности, отклонениях плана от факта. Ключевые показатели эффективности позволяют оценить эффективность выполняемых действий организацией в целом, отдельными структурными подразделениями и каждым конкретным сотрудником.

В статье представлен методический подход к выбору КРІ для оценки деятельности организаций ИТ-сферы, сформулированы предложения по номенклатуре КРІ применительно к таким организациям, а также по методам расчета отдельных показателей.

Литература

1. Методические рекомендации по формированию и применению ключевых показателей эффективности деятельности акционерных обществ, акции которых находятся в собственности Российской Федерации, и отдельных некоммерческих организаций в целях определения размера вознаграждения их руководящего состава: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2020 г. № 3579-р. <https://docs.cntd.ru/document/573230645>.
2. Стенограмма заседания Совета по науке и образованию 8 февраля 2023 г. <https://www.kremlin.ru/events/president/news/70473>.
3. Друкер П. Классические работы по менеджменту / Пер. с англ. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. 220 с. (*Drucker P. Classic Drucker: Essential wisdom of Peter Drucker from the pages of Harvard Business Review.* — Boston, MA, USA: Harvard Business Review Book, 2006. 221 p.)
4. Панов М. М. Оценка деятельности и система управления компанией на основе КРІ. — М.: Инфра-М, 2013. 255 с.
5. Сафина Д. М. Управление ключевыми показателями эффективности. — Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2018. 123 с.
6. Парментер Д. Ключевые показатели эффективности. Разработка, внедрение и применение решающих показателей / Пер. с англ. — М.: Олимп-Бизнес, 2011. 288 с. (*Parmenter D. Key performance indicators: Developing, implementing and using winning KPIs.* — Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2007. 236 p.)

7. Васильева Е. В., Алтухова Н. Ф., Деева Е. А., Доценко Д. А., Козлов М. А. Экономика информационных систем: управление и оценка эффективности. — М.: КНОРУС, 2020. 624 с.

Поступила в редакцию 06.03.23

METHODOLOGICAL APPROACH TO THE SELECTION OF KEY PERFORMANCE INDICATORS FOR EVALUATING THE INFORMATION AND TECHNOLOGY ORGANIZATIONS

A. A. Zatsarinny and Yu. S. Ionenkov

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

Abstract: The article presents a methodological approach to the selection of key performance indicators (KPI) for evaluating information and technology (IT) organizations. The value of KPIs in assessing the effectiveness of organizations is shown. The main approaches to the selection of the nomenclature of KPI, including the types of such indicators and requirements for them, are presented. The proposals have been developed on the KPI nomenclature in relation to IT organizations. It is suggested to use three types of indicators: target, functional, and financial. The proposals on methods for calculating individual indicators are formulated.

Keywords: information system; key performance indicators; targets; functional indicators; financial indicators

DOI: 10.14357/08696527230208

References

1. Metodicheskie rekomendatsii po formirovaniyu i primeneniyu klyuchevykh pokazateley effektivnosti deyatel'nosti aktsionernykh obshchestv, aktsii kotorykh nakhodyatsya v sobstvennosti Rossiyskoy Federatsii, i otdel'nykh nekommercheskikh organizatsiy v tselyakh opredeleniya razmera voznagrashdeniya ikh rukovodyashchego sostava: Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 28 dekabrya 2020 g. No. 3579-r. [Methodological recommendations on the formation and application of key performance indicators for joint-stock companies whose shares are owned by the Russian Federation and individual nonprofit organizations in order to determine the amount of remuneration for their management: Decree of the Government of the Russian Federation No. 3579-r dated 28.12.2020]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573230645> (accessed April 5, 2023).
2. Stenogramma zasedaniya Soveta po nauke i obrazovaniyu 8 fevralya 2023 g. [Transcript of the meeting of the Council for science and education dated 08.02.2023] Available at: <https://www.kremlin.ru/events/president/news/70473> (accessed April 5, 2023).

3. Drucker, P. 2006. *Classic Drucker: Essential wisdom of Peter Drucker from the pages of Harvard Business Review*. Boston, MA: Harvard Business Review Book. 221 p.
4. Panov, M. M. 2013. *Otsenka deyatel'nosti i sistema upravleniya kompaniey na osnove KPI* [Evaluation of activities and company management system based on KPI]. Moscow: Infra-M. 255 p.
5. Safina, D. M. 2018. *Upravlenie klyuchevymi pokazatelyami effektivnosti* [KPI management]. Kazan: Kazan University Press. 123 p.
6. Parmenter, D. 2007. *Key performance indicators: Developing, implementing and using winning KPIs*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc. 236 p.
7. Vasil'eva, E. V., N. F. Altukhova, E. A. Deeva, D. A. Dotsenko, and M. A. Kozlov. 2020. *Ekonomika informatsionnykh sistem: Upravlenie i otsenka effektivnosti* [Information systems economics: Management and performance evaluation]. Moscow: KNORUS. 624 p.

Received March 6, 2023

Contributors

Zatsarinny Alexander A. (b. 1951) — Doctor of Science in technology, professor, principal scientist, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences; 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; AZatsarinny@ipiran.ru

Ionenkov Yuriy S. (b. 1956) — 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 119333, Russian Federation; uionenkov@ipiran.ru

СИСТЕМА СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ КАК МУЛЬТИСЕРВИСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ В ОБЛАЧНОЙ СРЕДЕ: СЕРВИСЫ АНАЛИТИКИ

*А. П. Сучков*¹

Аннотация: Это четвертая статья в серии публикаций, посвященных методологии разработки и внедрения автоматизированных систем ситуационного управления как общедоступной мультисервисной технологии в облачной среде. Предлагается использовать существующие модели обслуживания IaaS (Infrastructure as a Service) и DaaS (Desktop as a Service), позволяющие реализовать требуемую инфраструктуру (серверы, рабочие места, хранилища, базы данных (БД)) и специализированные рабочие места с прикладным программным обеспечением, реализующие необходимый функционал. Предложены основные подходы к созданию мультисервисной типовой системы ситуационного управления как услуги (CSaaS, Control System as a Service). В статье изложены подходы к построению и детализации одной из основных групп сервисов CSaaS, обеспечивающих создание, ведение и использование системы аналитических сервисов, осуществляющих поддержку процессов принятия решений.

Ключевые слова: автоматизированная система ситуационного управления; мультисервисная технология; облачная среда; сервисы аналитики

DOI: 10.14357/08696527230209

1 Введение

В настоящее время подавляющее большинство организационных систем при реализации стратегических целей связывают свое развитие с цифровой трансформацией. Широкое распространение получают цифровые системы ситуационного управления с технологиями, реализующими функции поддержки принятия решений как для текущих задач организационной системы, так и для задач среднесрочного и перспективного планирования. В связи с этим возросла актуальность задач межведомственного информационного взаимодействия. В [1] на основе анализа опыта организации межведомственного информационного взаимодействия крупных государственных информационных систем [1–3], а также проведенных научных исследований предлагаются пути решения научно-технических проблем организации такого взаимодействия в распределенных системах ситуационно-

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



Основные процессы унифицированной системы ситуационного управления (ФЭД — формализованный электронный документооборот; ИЛО — информационно-логистическое обеспечение; СПО — специальное программное обеспечение)

го управления, а именно: обосновываются концептуальные и архитектурные решения на основе создания единых моделей государственных данных.

Это определяет тенденцию возрастания спроса на разработку и внедрение автоматизированных систем управления, обеспечивающих аналитическую обработку все нарастающего потока данных в интересах принятия оптимальных управленческих решений. Очевидно, что затраты на разработку существенно снижаются при использовании доступных готовых типовых решений (инфраструктурных и программных), настраиваемых на конкретные приложения.

Предпосылками для создания системы управления как общедоступной мультисервисной технологии в облачной среде послужили существующие модели обслуживания IaaS и DaaS, позволяющие реализовать определенную инфраструктуру (серверы, рабочие места, хранилища, БД) и специализированные рабочие места с прикладным программным обеспечением, реализующие необходимый функционал. В состав групп сервисов, реализующих процессы мультисервисной системы управления, входят (см. рисунок) [4]:

- основные группы сервисов, реализующие функции управления:
 - целеполагание системы управления;
 - мониторинг контролируемого информационного пространства;
 - анализ событий и ситуаций, выработка вариантов решений;
 - система поддержки принятия решений;
 - реализация решений;
- вспомогательные группы сервисов, обеспечивающие технологические процессы, реализующие функции поддержания инфраструктуры:
 - управление информационными ресурсами;
 - организация информационного взаимодействия;
 - обеспечение информационной безопасности;
 - управление доступом к ресурсам;
- сервисы локализации системы управления:
 - создание и модификация XML-модели данных;
 - создание хранилища ситуационных данных;
 - настройка баз знаний и аналитики;
 - настройка вспомогательных сервисов.

В предыдущих статьях [4–6] предложены основные подходы к созданию мультисервисной унифицированной системы ситуационного управления как услуги (CSaaS), а также конкретизированы группы сервисов целеполагания и мониторинга. В статье обсуждаются подходы к формированию состава группы сервисов аналитики и ее структура.

2 Особенности аналитической составляющей CSaaS

При рассмотрении системных и методических вопросов создания систем поддержки принятия решений, основанных на ситуационном анализе, в статье используется ряд базовых понятий: *событие, обстановка, ситуация, угроза, управление, цели управления* и др. [7]. *Ситуация* определяется состоянием взаимосвязанных элементов обстановки в контролируемом пространстве; изменения обстановки определяются *событиями*, образующими некоторые разворачивающиеся во времени, наблюдаемые и регистрируемые потоки. При этом под управлением понимается целенаправленное воздействие органа управления на подчиненные ему или взаимодействующие элементы обстановки (силы, средства, ресурсы).

Понятие ситуационного анализа используется в процессах управления, когда возникает необходимость выработки управленческих решений в режиме реального времени в условиях сложной обстановки, складывающейся в отношении контролируемых объектов. Ситуационный анализ обеспечивает на основе событийного мониторинга обстановки идентификацию ситуаций (угроз), слежение за состоянием ситуаций, прогноз сценариев их развития, а также поддержку процесса выработки управляющих воздействий для достижения целевой ситуации (нормализация ситуации).

Процессы принятия решений CSaaS осуществляются на основе специализированных аналитических технологий, реализованных в виде совокупности взаимосвязанных сервисов. При этом под *аналитической технологией* понимается регламентированный процесс получения информационного продукта [8]:

- созданного на основе специально собранных и подготовленных достоверных данных предметной области анализа;
- содержащего количественные или качественные оценки анализируемых процессов, полученные с помощью определенных математических, эвристических, экспертных и других методов анализа, как правило, с использованием программного обеспечения;
- характеризующего непосредственно ненаблюдаемые процессы, закономерности, факторы и параметры анализируемой предметной области;
- содержательная интерпретация которого позволяет принять результативные и в некотором смысле оптимальные управленческие решения.

Для определения конкретного состава аналитических сервисов в облачной среде необходимо структурировать два существующих измерения информационной модели аналитических данных — данные мониторинга обстановки и виды анализа этих данных.

В [9] определены *виды подлежащих анализу данных* об обстановке в зоне ответственности системы управления:

- целевая обстановка (совокупность текущих значений целевых показателей и индикаторов (ЦПИ) состояния обстановки);
- контролируемые объекты (объекты, состояние которых подлежит контролю с точки зрения целей управления);
- контролируемые ресурсы (объекты управления, например свои или взаимодействующие ресурсы);
- неконтролируемые факторы, например противоборствующие ресурсы (силы, средства), элементы окружающей среды (природные, техногенные, социальные, политические и экономические факторы контролируемого пространства).

Определим *шесть стадий (видов) анализа* обстановки в системе управления:

- (1) анализ и оценка целевой обстановки;
- (2) оценка параметров ненаблюдаемых (скрытых) элементов обстановки на основе выборочных или косвенных данных по результатам мониторинга, выявление фактов;
- (3) оперативный анализ обстановки путем ее сравнения с прошедшим периодом (без изменений, хуже, лучше, аномалия) с целью выявления ситуаций, требующих немедленного реагирования;
- (4) оценка степени сложности ситуации: штатная, критическая, чрезвычайная;
- (5) поддержка процессов принятия управленческих решений — адаптация вариантов типовых решений или выработка вариантов решений для нештатных ситуаций;
- (6) прогнозирование изменения обстановки: без управляющего воздействия; с управляющим воздействием; сценарное прогнозирование с учетом внешних факторов; выбор варианта решения (с учетом прогнозирования).

3 Сервисы локализации аналитики

Локализация аналитических сервисов осуществляется с учетом настройки системы целеполагания на конкретное приложение. Основные параметры системы целеполагания, включая цели и задачи, формализуются в виде ЦПИ, их целевых значений и сроков их достижения. Так, при реализации Федеральной программы «Безопасный город»» (АПК БГ) основными ЦПИ могут служить показатели причиненного и предотвращенного ущерба от чрезвычайных ситуаций [1].

Итак, целевая обстановка в каждый момент времени t характеризуется значением целевых показателей

$$C_i(t) = f(p_j(t)), \quad i = 1, \dots, n, \quad p_j \in P, \quad j = 1, \dots, m, \quad (1)$$

где f — формула расчета ЦПИ в зависимости от текущих значений наблюдаемых по данным мониторинга параметров обстановки p_j из множества параметров системы целеполагания P . В системе целеполагания задаются также целевые значения ЦПИ в заданные моменты времени и критерии их достижения (плановые значения). В общем виде их можно подредить как целевые множества ЦПИ:

$$C_i(t_k) \in \Omega_i(t_k). \quad (2)$$

Например, целевой показатель времени загрузки уникальных научных установок (УНУ) в Центрах коллективного пользования должен превышать 70%, что установлено на федеральном уровне соответствующими постановлениями [10].

Итак, в состав сервисов локализации аналитики включаются сервисы формирования расчетных формул (1) и установление критериев (2).

Следующая задача локализации — обеспечить учет влияния управляющих воздействий на значения ЦПИ в виде моделей их зависимости от ресурсов, используемых в процессе управления. Так, продолжая приведенный пример, время загрузки УНУ зависит от следующих факторов: состояние УНУ, качество обслуживающего персонала, менеджмент услуг и состояние неконтролируемых факторов. Таким образом, время загрузки УНУ является функцией от затрат на оборудование (ремонт, модернизация, обслуживание), на управление персоналом (наем, повышение квалификации, повышение производительности труда), на менеджмент (реклама, онлайн-сервисы, управление ресурсами), а также затраты на нейтрализацию негативных процессов (например, санкции и воздействие внешней среды, зачастую государственное регулирование). Построение таких моделей — самый сложный и наукоемкий процесс локализации CSaaS, и осуществляется он с использованием существующих методов моделирования (например, линейная и нелинейная регрессия) и стандартных моделей либо путем экспертной оценки на основе анализа опыта предыдущих периодов деятельности. Итак, модели зависимостей параметров можно формализовать следующим образом:

$$p_j(t) = p_j \left(\vec{r}(t), t \right), \quad p_j \in P, \quad \vec{r} \in R, \quad (3)$$

где \vec{r} — управляющие воздействия в виде вектора затрат ресурсов по направлениям R — общее ограничение на затраты. Таким образом, *основная цель управления* состоит в достижении минимума декартова расстояния от текущих значений ЦПИ до целевых плановых значений на множестве значений вектора ресурсов:

$$\rho \left(C_i(t_k) = p_j \left(\vec{r}(t_k), t_k \right), \Omega_i(t_k) \right) \xrightarrow[\vec{r} \in R]{} \min . \quad (4)$$

Настройки могут быть необходимы для ряда вспомогательных сервисов с использованием искусственного интеллекта по извлечению фактов и знаний из потоков текстов на естественном языке, аудио, видео и других источников. Для их локализации необходимы подборки корпусов текстовых документов или других массивов обучающих данных прикладной области системы управления.

К сервисам локализации CSaaS относятся сервисы:

- формирования, настройки, корректировки системы критериев (2), пороговых значений, эвристик, параметров расчетных алгоритмов;
- формирования, настройки, корректировки системы моделей целей управления в зависимости от состояния обстановки, ситуаций и угроз (1), (3);
- формирования, настройки, корректировки системы расчетных показателей, характеризующих обстановку и ее элементы (3);
- обучение и предметная ориентация систем искусственного интеллекта по извлечению фактов и знаний.

4 Сервисы аналитики CSaaS

Наиболее адекватной моделью описания онтологии данных мониторинга представляется динамическая семантическая сеть (ДСС) [10].

Дискретная структура информационной модели мониторинга в виде ДСС позволяет применять методы дискретной математики, связанные с теорией графов, математической логикой и лингвистическим анализом:

- выделение фактов и формализация фактографических данных на основе лингвистического анализа слабоструктурированной информации;
- идентификация и регистрация объектов, слияние подсетей;
- поиск подобных пространственно-временных конфигураций методами теории графов (изоморфизм и изоморфное вложение графов);
- логические выводы (поиск решения) на семантической сети;
- поиск прямых и ассоциативных связей (путей на графе);
- расчет интегральных и целевых показателей на графах.

С другой стороны, наличие в модели временного параметра после накопления достаточной ретроспективы дает возможность применять различные статистические методы анализа:

- анализ временных рядов, характеризующих изменение количественных и качественных атрибутов узлов и связей ДСС (анализ трендов, сезонных колебаний, тенденций и аномалий);
- прогнозирование изменения параметров с учетом выявленных трендов и анализируемых сценариев развития обстановки;
- динамическое моделирование ситуаций;
- статистическая оценка количественных и качественных характеристик потоков событий.

Кроме того, для решения экстремальных задач типа (4) применимы численные методы оптимизации и многокритериального выбора.

Применяемые методы анализа варьируются в зависимости от уровня управления и от видов аналитических данных [11]. Для поддержки процессов управления верхних уровней должен осуществляться анализ массовых потоков событий по всем направлениям предметной области. Для анализа обстановки и поддержки процессов принятия решений на этих уровнях применяются математические методы статистического анализа потоков событий с целью создания динамических моделей процессов. На их основе осуществляется анализ текущего состояния, сравнительный анализ с прошедшим периодом времени, выявление тенденций и аномалий в потоках событий, прогнозирование развития ситуаций и угроз, поддержка принятия решений.

На нижних уровнях управления мониторинг контролируемого пространства осуществляется более детально, с учетом состояния конкретных контролируемых

объектов и их взаимосвязей. Для анализа данных здесь применяются методы дискретной математики, связанные с теорией графов, математической логикой и лингвистическим анализом. Для нижнего уровня характерно использование информационно-расчетных задач, позволяющих прогнозировать и оценивать факторы, связанные с геопространственными задачами и оценками эффективности принимаемых решений.

Сегмент сервисов ситуационного анализа и систематизации информации должен обеспечивать реализацию следующих функций:

- во взаимодействии с сегментом мониторинга получение данных о состоянии обстановки от собственных (субъективных и объективных средств наблюдения и контроля) и внешних по отношению к системе источников информации (ведомственных, межведомственных, международных, независимых и др.);
- извлечение фактов, структуризация и формализация разнородных данных о значимых событиях в соответствии с выбранной информационной моделью предметной области;
- формирование хранилищ ситуационных данных;
- расчет первичных и интегральных показателей обстановки, а также статистическая оценка характеристик ненаблюдаемых элементов обстановки;
- решение задач перспективного планирования, контроль исполнения решений по планированию;
- выявление значимых ситуаций, их ранжирование по степени важности, видам и типам, формирование текущего перечня аналитических задач по складывающейся обстановке и по поручениям руководства;
- выработка вариантов решений по применению управляющих воздействий для достижения целевых ситуаций, формирование способов наглядного представления вариантов решения для лица, принимающего решение, (ЛПР) (оперативное планирование);
- прогнозирование развития обстановки и процесса реализации целей системы управления на основе сформированных ситуационных моделей и моделей угроз, в том числе и с учетом применения выработанных вариантов решений;
- обеспечение процессов принятия решений комплексом информационно-расчетных задач;
- возможность визуализации результатов анализа обстановки на индивидуальных и коллективных средствах отображения;
- формирование способов визуализации агрегированных данных о складывающейся обстановке для ЛПР и оперативного состава;
- формирование отчетности и служебной документации.

Аналитические сервисы CSaaS

Стадии анализа	Аналитические сервисы по группам данных мониторинга			
	Целевая обстановка	Контролируемые объекты	Контролируемые ресурсы	Неконтролируемые факторы
Оценка целевой обстановки	<ul style="list-style-type: none"> – Расчет ЦПИ обстановки (1) – Сервисы планирования (корректировка плана) (2) 	<ul style="list-style-type: none"> – Расчет ЦПИ состояния (1) – Сервисы планирования (корректировка плана) (2) 	<ul style="list-style-type: none"> – Расчет ЦПИ состояния (1) – Сервисы планирования (корректировка плана) (2) 	<ul style="list-style-type: none"> – Оценка угроз и рисков
Оценка скрытых элементов обстановки	<ul style="list-style-type: none"> – Оценка параметров (3) – Извлечение фактов и знаний 	<ul style="list-style-type: none"> – Оценка параметров (3) – Извлечение фактов и знаний 	<ul style="list-style-type: none"> – Оценка параметров (3) – Извлечение фактов и знаний 	<ul style="list-style-type: none"> – Оценка параметров (3) – Извлечение фактов и знаний
Оперативный анализ обстановки	<ul style="list-style-type: none"> – Оценка реализации плана (расчет расстояния (4)) 	<ul style="list-style-type: none"> – Оценка реализации плана (расчет расстояния (4)) 	<ul style="list-style-type: none"> – Оценка реализации плана (расчет расстояния (4)) 	<ul style="list-style-type: none"> – Оценка изменений
Оценка ситуации	<ul style="list-style-type: none"> – Распознавание и классификация ситуации 	<ul style="list-style-type: none"> – Распознавание и классификация ситуации 	<ul style="list-style-type: none"> – Распознавание и классификация ситуации 	<ul style="list-style-type: none"> – Распознавание и классификация ситуации
Поддержка принятия управленческих решений	<ul style="list-style-type: none"> – Расчет распределения ресурсов для минимизации (4) – Формирование управляющих воздействий в виде команд и инструкций 	<ul style="list-style-type: none"> – Расчет распределения ресурсов для минимизации (4) – Формирование управляющих воздействий в виде команд и инструкций 	<ul style="list-style-type: none"> – Расчет распределения ресурсов для минимизации (4) – Формирование управляющих воздействий в виде команд и инструкций 	<ul style="list-style-type: none"> – Расчет воздействия на расстояние (4)
Прогнозирование изменения обстановки	<ul style="list-style-type: none"> – Прогноз значения целевых показателей – Корректировка управляющих воздействий 	<ul style="list-style-type: none"> – Прогноз состояния – Корректировка управляющих воздействий 	<ul style="list-style-type: none"> – Прогноз состояния – Корректировка управляющих воздействий 	<ul style="list-style-type: none"> – Прогноз состояния – Корректировка управляющих воздействий

Рассматривая совокупность аналитических сервисов CSaaS в приведенных выше двух измерениях аналитики (данные мониторинга и виды анализа) можно составить полную и целостную картину ее структуры и состава (см. таблицу).

Завершающая стадия цикла управления — доведение решений по результатам анализа сложившейся обстановки в контролируемом пространстве до своих сил и средств и контроль их реализации (сроки достижения динамических подцелей, ответственные за исполнение, виды отчетности):

- формирование динамических подцелей и планов по реализации решений;
- сбор информации по ходу выполнения плана (отчетность), визуализация хода исполнения, контроль исполнения;
- сравнительный анализ ЦПИ по целям и подцелям для текущей обстановки, включая расчет степени реализации плана и прогнозирование возможности реализации плана;
- реализация обратной связи по уточнению решения по планированию с целью обеспечения выполнения плана;
- доведение уточненного решения и контроль исполнения.

5 Заключение

Актуальность создания мультисервисных технологий в облачной среде в последние годы резко возросла. Это обусловлено интенсивными процессами цифровой трансформации в сфере государственного управления, а также острой необходимостью повышения эффективности межведомственного информационного взаимодействия в условиях масштабной санкционной политики против России.

С учетом этого в статье:

- изложены основные подходы к созданию мультисервисной унифицированной системы ситуационного управления как услуги (CSaaS);
- дана детализация одной из основных и наукоемких групп сервисов CSaaS, обеспечивающих анализ контролируемой обстановки и поддержку процессов принятия решений;
- определены основные процессы, обеспечивающие локализацию и применение аналитических сервисов CSaaS;
- сформирована полная и целостная структура группы аналитических сервисов ситуационного управления;
- очерчены процессы реализации решений и контроль их исполнения.

Предложенные в статье подходы к созданию мультисервисной унифицированной системы ситуационного управления как услуги, включая определение состава данных мониторинга и методов их анализа, создают технологическую основу для существенного повышения эффективности процессов создания автоматизированных систем ситуационного управления и их информационного взаимодействия.

Литература

1. Зацаринный А. А., Сучков А. П. Информационное взаимодействие в распределенных системах ситуационного управления. — М.: ФИЦ ИУ РАН, 2021. 256 с.
2. National Information Exchange Model. <https://www.niem.gov>.
3. A European strategy for data: Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: COM (2020) 66 final. — Brussels, 2020. 34 p. <https://www.tadviser.ru/index.php>.
4. Зацаринный А. А., Сучков А. П. Система ситуационного управления как мульти-сервисная технология в облачной среде // Информатика и её применения, 2018. Т. 12. Вып. 1. С. 78–88. doi: 10.14357/19922264180110.
5. Зацаринный А. А., Сучков А. П. Автоматизированная система ситуационного управления как услуга: сервисы целеполагания // Современные сетевые технологии: Труды 4-й Междунар. конф. — М., 2022. С. 83–86.
6. Зацаринный А. А., Сучков А. П. Концептуальные подходы к обеспечению межведомственного информационного взаимодействия // Информатика: проблемы, методы, технологии: Мат-лы XXIII Междунар. научн.-практич. конф. им. Э. К. Алгазина. — Воронеж, 2023 (в печати).
7. Сучков А. П. Два подхода к ситуационному анализу потоков событий // Ситуационные центры: фокус кросс-отраслевых интересов: Мат-лы II конф. — М.: РАНХиГС при Президенте РФ, 2012. <http://www.ситцентр.рф/archive/2012/obzor.html>.
8. Зацаринный А. А., Соченков И. В., Сучков А. П. Некоторые научно-методические вопросы создания Фонда аналитических технологий и программ // Искусственный интеллект и принятие решений, 2016. № 2. С. 78–82.
9. Сучков А. П. Аналитические аспекты мультиагентных распределенных систем управления // Системы и средства информатики, 2014. Т. 24. № 2. С. 166–177. doi: 10.14357/08696527140211.
10. Осипов Г. С. Жиликова Л. Ю. Динамические семантические сети // Научная сессия МИФИ, 2004. Т. 3. С. 16–21.
11. О требованиях к центрам коллективного пользования научным оборудованием и уникальным научным установкам, которые созданы и (или) функционируют, обеспечение которых осуществляется с привлечением бюджетных средств, и правилах их функционирования: Постановление Правительства Российской Федерации от 17 мая 2016 г. № 429.

Поступила в редакцию 25.01.23

SITUATIONAL MANAGEMENT SYSTEM AS A MULTISERVICE TECHNOLOGY IN A CLOUD ENVIRONMENT: ANALYTIC SERVICES

A. P. Suchkov

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

Abstract: This article is the fourth in a series of articles devoted to the methodology of development and implementation of automated situational management systems as a public multiservice technology in a cloud environment. It is proposed to use existing IaaS (Infrastructure as a Service) and DaaS (Desktop as a Service) service models that allow implementing the required infrastructure (servers, workstations, storage, and databases) and specialized workstations with application software that implement the necessary functionality. The main approaches to the creation of a multiservice standard situational management system as a service CSaaS (Control System as a Service) are proposed. The article describes approaches to the construction and detailing of one of the main groups of CSaaS services which ensure the creation, maintenance, and use of a system of analytical services that support decision-making processes.

Keywords: automated situational management system; multiservice technology; cloud environment; analytics services

DOI: 10.14357/08696527230209

References

1. Zatsarinny, A. A., and A. P. Suchkov. 2021. *Informatsionnoe vzaimodeystvie v raspredelennykh sistemakh situatsionnogo upravleniya* [Information interaction in distributed situational management systems]. Moscow: FRC CSC RAS. 256 p.
2. National Information Exchange Model. Available at: <https://www.niem.gov> (accessed April 18, 2023).
3. A European strategy for data: Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: COM (2020) 66 final. 2020. Brussels. 34 p. Available at: <https://www.tadviser.ru/index.php> (accessed April 18, 2023).
4. Zatsarinny, A. A., and A. P. Suchkov. 2018. Sistema situatsionnogo upravleniya kak mul'tiservisnaya tekhnologiya v oblachnoy srede [The situational management system as a multiservice technology in the cloud]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 12(1):78–88. doi: 10.14357/19922264180110.
5. Zatsarinny, A. A., and A. P. Suchkov. 2022. Avtomatizirovannaya sistema situatsionnogo upravleniya kak usluga: Servisy tselepolaganiya [Automated situational management system as a service: Goal-setting services]. *4th Science and Technology Conference (International) “Modern Network Technologies”*. Moscow. 83–86.

6. Zatsarinny, A. A., and A. P. Suchkov. 2023 (in press). Kontseptual'nye podkhody k obespecheniyu mezhvedomstvennogo informatsionnogo vzaimodeystviya [Conceptual approaches to ensuring interdepartmental information interaction]. *Informatika: Problemy, metody, tekhnologii: Mat-ly XXIII Mezhdunar. nauchn.-praktich. konf. im. E. K. Algazinova* [Informatics: Problems, Methods, and Technologies: 23rd Scientific and Practical Conference (International) named E. K. Algazinova Proceedings]. Voronezh.
7. Suchkov, A. P. 2012. Dva podkhoda k situatsionnomu analizu potokov sobytiy [Two approaches to situational analysis of event streams]. *Situatsionnye tsentry: Fokus kross-otraslevykh interesov. Mat-ly II konf.* [2nd Conference on Situational Centers: The Focus of Cross-Sectoral Interests Proceedings]. Available at: <http://www.ситцентр.рф/archive/2012/obzor.html> (accessed April 8, 2023).
8. Zatsarinny, A. A., I. V. Sochenkov, and A. P. Suchkov. 2016. Nekotorye nauchno-metodicheskie voprosy sozdaniya Fonda analiticheskikh tekhnologiy i programm [Some scientific and methodological issues during the creation of the analytical technologies and programs foundation]. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy* [Artificial Intelligence and Decision Making] 2:78–82.
9. Suchkov, A. P. 2014. Analiticheskie aspekty mul'tiagentnykh raspredelennykh sistem upravleniya [Analytical aspects of multiagent distributed control systems]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 24(2):166–177. doi: 10.14357/08696527140211.
10. Osipov, G. S., and L. Yu. Zhilyakova. 2004. Dinamicheskie semanticheskie seti [Dynamic semantic network]. *Nauchnaya sessiya MIFI-2004* [Scientific Session MEPhI-2004] 3:16–21.
11. Russian Federation Government. 17.05.2016. O trebovaniyakh k tsentram kollektivnogo pol'zovaniya nauchnym oborudovaniem i unikal'nym nauchnym ustanovkam, kotorye sozdany i (ili) funktsionirovanie kotorykh obespechivaetsya s privilecheniem byudzhetykh sredstv, i pravilakh ikh funktsionirovaniya [On the requirements for the centers of collective use of scientific equipment and unique scientific installations which are created and (or) the functioning of which is provided with the involvement of budgetary funds, and the rules of their functioning]. Resolution No. 429.

Received January 25, 2023

Contributor

Suchkov Alexander P. (b. 1954) — Doctor of Science 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 119333, Russian Federation; ASuchkov@frccsc.ru

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ДЕЗАГРЕГАЦИИ И КОМПОНУЕМОСТИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЦЕНТРА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

*В. Б. Егоров*¹

Аннотация: Очередным шагом в совершенствовании организации и принципов функционирования инфраструктуры центров обработки данных (ЦОД) обещает стать компонуемая дезагрегированная инфраструктура (composable disaggregated infrastructure, CDI). Суть CDI — в переходе к «мелкозернистой» инфраструктуре и автоматической компоновке локальных исполнительных инфраструктур, оптимальных для каждой конкретной работы (workload). При очевидных преимуществах в гибкости и эффективности использования аппаратных ресурсов ЦОД у CDI имеются ограничения в реализуемости и применимости, тормозящие ее широкое внедрение. Хотя уже сегодня на рынке имеются предложения инфраструктур ЦОД, анонсируемых продавцами как дезагрегированные или компонуемые, во многих случаях это не более чем рекламный ход с целью привлечения пользователя входящими в моду терминами. Под флагом CDI нередко предлагаются самые разные инфраструктурные решения, что во многом провоцируется размытостью самого понятия CDI. В частности, основополагающий принцип компонуемости применим на самых разных уровнях «зернистости» инфраструктур, в том числе не обязательно дезагрегированных. Однако при всем многообразии трактовок концепции CDI общим правилом для них остается возможность полноценной реализации только в программно-определяемом ЦОД.

Ключевые слова: дезагрегация; дезагрегированная инфраструктура; компонуемая инфраструктура; CDI

DOI: 10.14357/08696527230210

1 Введение

Способы организации и принципы функционирования инфраструктуры ЦОД меняются, совершенствуясь быстрыми темпами. Очередным новшеством в этой области обещает стать компонуемая инфраструктура или, в несколько расширенном варианте, компонуемая дезагрегированная инфраструктура (CDI). Расширенному варианту термина следует отдать предпочтение хотя бы потому, что он позволяет избежать путаницы в аббревиатурах с конвергентной инфраструктурой (converged infrastructure, CI). Но и по существу: компонуемость инфраструктуры предполагает наличие в ней исходных для компоновки элементов, обеспечить которые предназначена компонентная дезагрегация с переходом к «мелкозерни-

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

стой» (fine-grained) инфраструктуре, «зернышками» которой вместо серверов, привычных в традиционных или гиперконвергентных инфраструктурах (hyperconverged infrastructures, HCI), становятся отдельные процессоры, оперативные памяти и элементы систем хранения данных (СХД). Из этих «зернышек» непосредственно перед выполнением очередной работы (workload) в ЦОД должна автоматически собираться в наибольшей степени отвечающая требованиям этой конкретной работы локальная исполнительная инфраструктура. Другими словами, в CDI исполнительные инфраструктуры предоставляются пользователям ЦОД как сервис (infrastructure as a service): «Главная особенность компонентной архитектуры состоит в том, что физические ресурсы хранения, вычислений и поддержки сети рассматриваются как программные сервисы. Управление ими осуществляется через интерфейсы прикладного программирования (application programming interfaces, API)» [1]. Предоставление пользователю исполнительных инфраструктур как сервисов позволяет ставить вопрос о сервисно ориентированном подходе к инфраструктуре ЦОД [2].

Теоретически CDI сулит владельцам ЦОД ряд преимуществ: возможность автоматически компоновать оптимальные локальные инфраструктуры под конкретные работы, уменьшение избыточности оборудования и улучшение его использования, а также упрощение масштабирования и модернизации инфраструктуры. Однако придирчивый взгляд на CDI может выявить несколько важных вопросов, на которые следует обратить внимание. Настоящая статья высвечивает некоторые из этих вопросов, не ставя задачу дать на них исчерпывающие ответы.

2 Условия и ограничения реализуемости компонентной деагрегированной инфраструктуры

При всей привлекательности концепции CDI ее полномасштабное воплощение тормозится чисто техническими причинами [3]. Для реализации CDI необходимы сверхвысокоскоростные коммутируемые каналы между «мелкозернистыми» компонентами, в первую очередь процессорами и оперативными памятьями: «Чтобы получить возможность по требованию собирать из установленных в стойке процессоров, блоков памяти и элементов хранения данных любые произвольные программно-определяемые инфраструктуры, нужно “всего лишь” обеспечить каналы между процессорами и памятью с пропускной способностью 500–800 Гбит/с на расстоянии до одного метра, а между процессорами и периферией — 100–200 Гбит/с на расстоянии от пяти до ста метров» [4]. Кроме того, для обеспечения компонентности помимо каналов связи нужны соответствующие им высокоскоростные коммутаторы и коммутационные структуры (switching fabrics). В качестве перспективной технологии, способной обеспечить такие возможности, предлагается кремниевая фотоника [5] с учетом обнадёживающих достижений как собственно кремниевой фотоники, так и кремниевое-фотонной коммутации [6].

Помимо технических трудностей внедрению CDI, в преодолении которых должна помочь кремниевая фотоника, имеются и организационные препятствия.

Достоинство компоуемости — возможность формировать на лету из наличных «мелкозернистых» инфраструктурных ресурсов исполнительные инфраструктуры в соответствии с потребностями конкретных работ — имеет и обратную сторону. Компоуемая дезагрегированная инфраструктура принципиально усложняет взаимодействие пользователя с ЦОД, так как перед заданием очередной работы он должен дополнительно озаботиться указаниями по компоновке необходимой для выполнения этой работы исполнительной инфраструктуры [1]. Для этого нужны не только API управления инфраструктурными сервисами, но и, более широко, универсальные стандартизованные правила взаимодействия пользователей с ЦОД [3]. Решения тут могут оказаться отнюдь не тривиальными. Например, в [7] механизм запуска работы в CDI представляется следующим образом: «Используя API-доступ к программному обеспечению (ПО) виртуализации, приложение может запросить любые необходимые ресурсы, получая мгновенную реконфигурацию сервера в режиме реального времени, без вмешательства человека». Здесь исполнительная инфраструктура, в данном случае сервер, создается во взаимодействии приложения через API с неким системным ПО виртуализации. Однако приложение может запросить необходимые ему инфраструктурные ресурсы только будучи запущенным в работу, а для его запуска нужна предварительно сформированная для этого (кем и как?) некая исполнительная инфраструктура, т. е. налицо конфликтная ситуация, требующая каких-то специальных мер и средств ее разрешения либо в рамках ожидаемых стандартизованных правил взаимодействия пользователей с ЦОД, либо даже вне этих рамок. В качестве такой «внерамочной» альтернативы предлагается, например, компоновка требуемого виртуального сервера «на аппаратном уровне без использования гипервизора» [8]. К сожалению, механизм такой аппаратной компоновки не поясняется, и он вообще труднопредставим.

Наконец, чтобы надлежащим образом оформленная пользователем работа была запущена в ЦОД с CDI, в нем должно наличествовать специфическое ПО, автоматически предоставляющее запрашиваемые пользователями сервисы, включая компоновку локальных исполнительных инфраструктур. И вряд ли тут можно обойтись неким «ПО виртуализации», скорее речь должна идти о полноценном программном определении. В итоге CDI и сервисно ориентированная инфраструктура обретают смысл только в программно-определяемом ЦОД (software-defined data center, SDDC). Но тем самым они получают еще одно препятствие для широкого внедрения: «Действительно, использование готовых сценариев и шаблонов для формирования необходимой инфраструктуры из набора компонентов упрощает обслуживание... но для создания этих шаблонов и адаптации кода нужны специалисты более высокой квалификации» [9]. Те же самые причины много лет тормозят внедрение программного определения сетей (software-defined networking, SDN), поскольку рядовой владелец ЦОД не в состоянии содержать штат высококвалифицированных специалистов, требуемый для создания ПО управления SDN-сетью [10]. Универсальное решение для обоих случаев — организации SDN-сети и компоновки исполнительных

инфраструктур в CDI — может заключаться в перекладывании проблемы создания соответствующего ПО на поставщика инфраструктуры, чтобы он поставлял фактически готовый «под ключ» SDDC.

3 Уровни компонентности

Отсутствие общепринятого определения CDI позволяет трактовать компонентность инфраструктуры довольно широко и, как следствие, реализовывать на разных уровнях «зернистости». Примером может служить следующая трактовка CDI: «Компонентно деагрегированная инфраструктура представляет собой такую архитектуру ЦОД, в которой физические ресурсы — вычислительные мощности, СХД и сетевые каналы — рассматриваются как услуги. Предоставление приложениям-пользователям всех необходимых ресурсов для выполнения их текущей задачи происходит в режиме реального времени, достигая таким образом оптимальной производительности в рамках ЦОД» [7]. Здесь любые ресурсы рассматриваются как услуги, но нет никаких ограничений на степень их деагрегации и «зернистости».

В том же русле компания IDC определяет CDI как «ориентированный на приложения подход к инфраструктуре, предполагающий создание сред с новым уровнем масштабирования, автоматизации и гибкости» [11]. Также никаких требований к уровню «зернистости» CDI при обещании преимуществ, традиционно присутствующих в рекламе любых инфраструктур: повышение гибкости, снижение затрат, ускорение предоставления услуг, простота масштабирования.

При такого рода трактовках CDI совсем не обязательно процесс деагрегации доводить до уровня процессора или блока оперативной памяти. Деагрегация и компонентность могут пониматься и реализовываться на разных уровнях «зернистости» инфраструктур. Это, с одной стороны, дает широкие возможности для спекуляции терминами, но с другой — позволяет использовать преимущества компонентности инфраструктуры уже сегодня, не дожидаясь светлого завтра кремниевой фотоники.

4 Балансировка ресурсов

Если заранее известен характер выполняемых ЦОД работ и определены их инфраструктурные требования, в традиционных инфраструктурах можно более-менее успешно сбалансировать ресурсы вычислений и СХД приобретением соответствующего оборудования. Однако при этом жесткая конфигурация серверов не позволяет варьировать соотношение ресурсов вычислений и оперативной памяти. При выполнении работ, требующих больших объемов вычислений, могут оказаться излишними значительные объемы наличной оперативной памяти, а в работах, задействующих большие объемы памяти, могут простаивать какие-то процессоры. Еще хуже ситуация в НСИ, где вследствие интеграции в серверы

СХД последние тоже не поддаются балансировке, что потенциально грозит неустранимой избыточностью сразу по двум инфраструктурным компонентам.

Теоретически CDI дает возможность лучше балансировать все инфраструктурные компоненты: процессоры, оперативную память и СХД, добываясь минимальной суммарной избыточности. Однако эта теоретическая возможность и в CDI практически реализуема лишь тогда, когда заранее известны инфраструктурные требования со стороны выполняемых ЦОД работ. В противном случае дезагрегированная компоуемость только принесет лишнюю головную боль из-за дополнительной неопределенности в отношении размеров и числа «мешков» с разными «зернами».

В этом плане преимущество имеют относительно небольшие локальные ЦОД, в которых уже круг решаемых задач и проще оценка их потребности в инфраструктурных ресурсах. Неслучайно именно владельцы таких ЦОД чаще всего выступают инициаторами внедрения CDI, особенно в тех случаях, когда необходим непосредственный контроль над ресурсами или привлечение «облачных» сервисов по каким-то причинам нежелательно: «Стимулом к реализации данного подхода послужило, в частности, стремление предприятий получить у себя на площадке те же возможности, что и в “облаке”. Как и в “облачной” модели “инфраструктура как сервис”, необходимые ресурсы запрашиваются из общего пула, который размещается не в публичном “облаке”, а в ЦОД клиента и контролируется им же» [9].

5 Дезагрегация и конвергентность

Хотя полномасштабная реализация дезагрегированной компоуемости — задача завтрашнего дня, уже сегодня на рынке можно найти предложения инфраструктур ЦОД, рекламируемых как дезагрегированные и компоуемые.

Архитектура Rack Scale Design (RSD) [12], анонсируемая компанией Intel как дезагрегированная компоуемая, дезагрегирована до уровня неких «выдвижных ящиков» (drawers), располагаемых в стойке или нескольких стойках. Содержимым «ящиков» могут быть любые продукты компании: процессоры, твердотельная память, программируемая логика и т. д., т. е., по существу, предлагается не столько дезагрегированное, сколько конвергентное решение инфраструктуры, компоуемой из готовых фирменных модулей-«ящиков». Отличительная черта архитектуры RSD — интегрированная многоуровневая система менеджмента: «ящики» имеют встроенные менеджмент-агенты, которые управляются стоечными менеджмент-модулями, а те, в свою очередь, общесистемным менеджмент-модулем. Все составляющие менеджмента связаны некой внутренней сетью. Наличие встроенной фирменной сети и сквозного комплексного менеджмента как раз характерно для CI и HCI [13].

Аналогично отечественная компания РСК под флагом дезагрегированного в реальности предлагает пользователям компоуемое гиперконвергентное решение с фирменными средствами «построения динамических программно-опреде-

ляемых сценариев конфигурации комплекса с акцентом на поддержку пользовательских задач обработки данных» [3], т. е. фактически речь идет о поставке готового под ключ фирменного гиперконвергентного SDDC.

Презентации архитектур RSD и PCK не уточняют детали организации в них сети, что вообще характерно для CI и HCI. Между тем деагрегация инфраструктуры никак не освобождает ее от сетевых проблем. Если в HCI внутренняя сеть связывает относительно небольшое число крупных компонентов, а именно: серверов, то в CDI необходимо связать между собой гораздо большее число «мелкозернистых» компонентов, в первую очередь процессоры с оперативными памятьми. Соответственно, если HCI все коммуникационные проблемы решает конвергентной сетью с инкорпорированным трафиком СХД (например, RDMA over converged Ethernet), то в CDI помимо сохраняющей все свои функции традиционной сети запрашиваются дополнительные сетевые средства: высокоскоростные коммутационные структуры подключения оперативных памяти к процессорам и, возможно, отдельные конфигулируемые сети СХД (например, NVMe (nonvolatile memory express) over fabrics). Умалчивание подробностей организации внутренней сети само по себе наводит на мысль, что под видом деагрегированных предлагаются конвергентные или гиперконвергентные системы с какими-то интегрированными в них фирменными, в том числе конвергентными, сетями.

Если что-то действительно сближает CDI с CI и HCI, то это привязка потребителя к единому поставщику целостной системы: «компоуемая инфраструктура, повышая гибкость масштабирования вычислительных ресурсов, порождает ту же зависимость от одного вендора, как и гиперконвергентная» [9]. Действительно, для динамичной компоновки разнообразных локальных исполнительных инфраструктур из россыпи «мелкозернистых» компонентов нужны, во-первых, гарантия совместимости этих компонентов в разнообразных конфигурациях, а во-вторых, наличие специфического ПО для их автоматической компоновки. Вероятно, оба условия в совокупности достижимы только при условии единого поставщика ЦОД как целостного единства инфраструктуры и ПО.

На первый взгляд, еще одним проявлением общности CDI и HCI представляется стремление крупных вендоров HCI выйти на рынок CDI. Согласно выводам Moor Insights & Strategy, наиболее активно внедряют деагрегированные архитектуры организации, имеющие опыт использования гиперконвергентной инфраструктуры, «поскольку они уже знакомы с преимуществами единой платформы, объединяющей вычислительные мощности, емкости хранения и сетевые ресурсы» [9]. Однако более вероятная причина этого видится не только и не столько в знакомстве потребителей с преимуществами HCI, сколько в наработанных связях и опыте общения с их поставщиком. Просто в какой-то момент этот безальтернативный вендор предлагает пользователям своей CI или HCI в качестве очередного усовершенствования в той или иной мере деагрегированное или компоуемое решение. В этом плане показательна позиция компании Cisco Systems: «Подавляющее большинство наших клиентов предпочитают покупать

комплексные системы с поддержкой мирового класса от Cisco. Они желают простоты, а не бремени того, что команды разработчиков создают и объединяют аппаратное и программное обеспечение, коммутаторы и операционные системы в нечто работающее» [14]. Это означает, что типичному клиенту в конечном счете не важно, будут ли покупаемые им «комплексные системы с поддержкой мирового класса» дезагрегированными, компоуемыми, гиперконвергентными или какими-то еще. Ему важнее комплексная быстрая поставка работоспособной системы с требуемыми возможностями.

Хотя принято считать, что «компоуемые системы рассматриваются как следующий этап эволюции конвергентных инфраструктур» [9], специалисты портала TAdviser высказывают предположение, что у дезагрегированного и гиперконвергентного подходов могут быть разные потребители. «У программ-гипервизоров и у технологии виртуализации в целом есть пределы, поэтому HCI, скорее всего, не выйдет за пределы частных “облаков”. У дезагрегации пределов нет, поэтому ее сфера применения — ЦОД компаний-гиперскейлеров, поставщиков услуг глобальных “облаков”» [4]. С этим предположением трудно согласиться. У якобы «беспредельной» дезагрегации имеется явное ограничение, то же самое, что и у гиперконвергенции: обязательность единственного поставщика всей инфраструктуры вместе с фирменными программными средствами ее компоновки и программного определения. И здесь скорее можно ожидать обратного. С технической точки зрения для такого комплексного поставщика нет особой разницы в реализации гиперконвергентности под частное или глобальное «облако», а дезагрегированную систему практически реализовывать на глобальном уровне, безусловно, сложнее, чем в рамках одного локального ЦОД.

6 Заключение

Очередным этапом совершенствования организации и принципов функционирования инфраструктуры ЦОД обещает стать CDI. Программно-определяемая «мелкозернистая» сервисно ориентированная инфраструктура дает возможность автоматически компоновать для выполняемых ЦОД работ локальные исполнительные инфраструктуры, оптимальные в каждом конкретном случае.

Наряду с очевидными преимуществами, главным образом в гибкости использования и динамической балансировке аппаратных ресурсов, у CDI есть и определенные неочевидные ограничения в реализуемости и применимости. Внедрение CDI объективно тормозится как чисто техническими, так и организационными причинами. Хотя уже сегодня можно найти предложения инфраструктур ЦОД, рекламируемых поставщиками как дезагрегированные или компоуемые, во многих случаях это не более чем рекламный ход с целью привлечения пользователя модными терминами. Под видом CDI нередко предлагаются конвергентные и гиперконвергентные решения, что во многом провоцируется помимо чисто маркетинговых аспектов размытостью самого понятия CDI. В частности, такое основополагающее понятие, как компоуемость, применимо на самых разных

уровнях «зернистости» инфраструктур, в том числе не обязательно дезагрегированных.

Неоднозначность терминов и их реальное содержание не слишком заботят большинство пользователей. Они хотят получить, желательно от одного надежного вендора, комплексный удобный в использовании продукт, не возражая при этом против присутствия, хотя бы по престижным соображениям, в его наименовании каких-то модных терминов. Но чтобы такой комплексный продукт действительно реализовал в том или ином виде концепцию CDI, он фактически должен представлять собой, независимо от рекламной терминологии, готовый «под ключ» SDDC.

Литература

1. *Новиков И.* Компонуемая ИТ-инфраструктура: ставка на программный подход // ITWeek, 16.10.2019. <https://www.itweek.ru/infrastructure/article/detail.php?ID=209931>.
2. *Чиндяскин Д. В.* Долгоиграющие ЦОД, или Принципы сохранения инвестиций в серверное оборудование // Connect WIT, 2019. № 4. <https://www.connect-wit.ru/dolgoigrayushhie-tsod-ili-printsipy-sohraneniya-investitsij-v-servernoe-oborudovanie.html>
3. *Лавренко П.* Дезагрегированные компонентные среды для высокопроизводительных задач // Storage News, 2019. № 2(74). Ст. RSC_74. http://www.storagenews.ru/74/RSC_74.pdf.
4. Грядет революция в ЦОДостроении // TAdviser, 26.10.2017. https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Дезагрегация_серверов_и_ее_причины.
5. *Jalali B., Fathpour S.* Silicon photonics // J. Lightwave Technol., 2006. Vol. 24. No. 12. P. 4600–4615. doi: 10.1109/JLT.2006.885782.
6. *Детинич Г.* Кремниевая фотоника в деле: Intel представила первый в отрасли интегрированный оптический Ethernet-коммутатор // ServerNews, 06.03.2020. <https://servernews.ru/1005320>.
7. Будущее инфраструктур центров обработки данных // Cloud4Y, 21.01.2019. <https://www.cloud4y.ru/blog/future-of-data-centers/>.
8. *Ганьжа Д.* Тенденции СХД — большие и маленькие // Ж. сетевых решений/LAN, 2018. № 6. P. 13054701. <https://www.osp.ru/lan/2018/06/13054701>.
9. *Ганьжа Д.* Компонуемая инфраструктура в контексте SDDC // Ж. сетевых решений/LAN, 2018. № 4. 13054479. <https://www.osp.ru/lan/2018/07/13054479>.
10. *Егоров В. Б.* Некоторые вопросы практической реализации концепции SDN // Системы и средства информатики, 2016. Т. 26. № 1. С. 109–120. doi: 10.14357/08696527160108.
11. *Miquelon M.* Open composable disaggregated infrastructures for the edge // Flash Memory Summit. — Santa Clara, CA, USA, 2019. https://www.flashmemorysummit.com/Proceedings2019/08-07-Wednesday/20190807_ENST-202B-1_Miquelon.pdf.
12. *Sheldon R.* What is Intel Rack Scale Design and how does it work? // TechTarget, 2020. <https://www.techtarget.com/searchdatacenter/tip/What-is-Intel-Rack-Scale-Design-and-how-does-it-work>.

13. *Егоров В. Б.* Программное определение сети в конвергентной и гиперконвергентной инфраструктурах // Системы и средства информатики, 2023. Т. 33. № 1. С. 105–113. doi: 10.14357/08696527230110.
14. Cisco продолжает свою стратегию деагрегации // NetStore. <https://netstore.su/articles/cisco-prodolzhaet-svoju-strategiju-dezagregatsii>.

Поступила в редакцию 22.12.22

SOME ISSUES OF DISAGGREGATION AND COMPOSABILITY OF THE DATA CENTER INFRASTRUCTURE

V. B. Egorov

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

Abstract: The composable disaggregated infrastructure (CDI) promises to become the next step in improving organization and functioning principles of data centers. The essence of CDI is in transition to a “fine-grained” infrastructure and automatic layout of local executive infrastructures that should be optimal for each specific workload. With obvious advantages in flexibility of using data center hardware resources, the CDI has, nevertheless, some limitations in feasibility and applicability. Although there are offerings of data center infrastructures announced as disaggregated or composable, those appear in many cases nothing more than advertising tricks to attract users with fashionable terms. In reality, other infrastructural solutions are often proposed under the disguise of the CDI. This is largely provoked, in addition to purely marketing aspects, due to the vagueness of the CDI term. In particular, the concept of composability is applicable at various infrastructure “granularity” levels including not necessarily disaggregated ones. As a general rule, the CDI concept implementation is feasible only within a software-defined data center.

Keywords: disaggregation; disaggregated infrastructure; composable infrastructure; CDI

DOI: 10.14357/08696527230210

References

1. Novikov, I. 16.10.2019. Komponuemaya IT-infrastruktura: Stavka na programmnyy podkhod [Composable IT infrastructure: Betting on a programmatic approach]. *ITWeek*. Available at: <https://www.itweek.ru/infrastructure/article/detail.php?ID=209931> (accessed April 5, 2023).
2. Chindyaskin, D.V. 2019. Dolgoigrayushchie TsOD, ili Printsipy sokhraneniya investitsiy v servernoe oborudovanie [Long-playing data centers, or the principles of maintaining investments in server equipment]. *Connect WIT* 4. Available at: <https://www.connect-wit.ru/dolgoigrayushhie-tsod-ili-printsipy-sohraneniya-investitsij-v-servernoe-oborudovanie.html> (accessed April 5, 2023).

3. Lavrenko, P. 2019. Dezagregirovannye komponuemye sredy dlya vysokoproizvoditel'nykh zadach [Disaggregated composable environments for high performance workloads]. *Storage News* 2(74). Available at: http://www.storagenews.ru/74/RSC_74.pdf (accessed April 5, 2023).
4. Gryadet revolyutsiya v TsODostroenii [A data center revolution is coming]. 26.10.2017. *TAdviser*. Available at: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Деагрегация_серверов_и_ее_причины (accessed April 5, 2023).
5. Jalali, B., and S. Fathpour. 2006. Silicon photonics. *J. Lightwave Technol.* 24(12):4600–4615. doi: 10.1109/JLT.2006.885782.
6. Detinich, G. 06.03.2020. Kremnievaya fotonika v dele: Intel predstavila pervyy v otrasli integrirovannyi opticheskiy Ethernet-kommutator [Silicon photonics in action: Intel introduces industry's first integrated optical Ethernet switch]. *ServerNews*. Available at: <https://servernews.ru/1005320> (accessed April 5, 2023).
7. Budushchee infrastruktur tsentrov obrabotki dannykh [The future of Data Center Infrastructures]. 21.01.2019. *Cloud4Y*. Available at: <https://www.cloud4y.ru/blog/future-of-data-centers/> (accessed April 5, 2023).
8. Ganzha, D. 2018. Tendentsii SKhD — bol'shie i malen'kie [Storage trends — big and small]. *Zh. setevykh resheniy/LAN* [LAN/Network Solutions Magazine] 6:13054701. Available at: <https://www.osp.ru/lan/2018/06/13054701> (accessed April 5, 2023).
9. Ganzha, D. 2018. Komponuemaya infrastruktura v kontekste SDDC [Composable infrastructure in the context of SDDC]. *Zh. setevykh resheniy/LAN* [LAN/Network Solutions Magazine] 7:13054479. Available at: <https://www.osp.ru/lan/2018/07/13054479> (accessed April 5, 2023).
10. Egorov, V. B. 2016. Nekotorye voprosy prakticheskoy realizatsii kontseptsii SDN [Some issues of the SDN concept practical implementation]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 26(1):109–120. doi: 10.14357/08696527160108.
11. Miquelon, M. 2019. Open composable disaggregated infrastructures for the edge. *Flash Memory Summit*. Santa Clara, CA. Available at: https://www.flashmemorysummit.com/Proceedings2019/08-07-Wednesday/20190807_ENST-202B-1_Miquelon.pdf (accessed April 5, 2023).
12. Sheldon, R. 2020. What is Intel Rack Scale Design and how does it work? *TechTarget*. Available at: <https://www.techtarget.com/searchdatacenter/tip/What-is-Intel-Rack-Scale-Design-and-how-does-it-work> (accessed April 5, 2023).
13. Egorov, V. B. 2023. Programmnoe opredelenie seti v konvergentnoy i giperkonvergentnoy infrastrukturakh [The software-defined networking in converged and hyperconverged infrastructures]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 33(1):105–113. doi: 10.14357/08696527230110.
14. Cisco prodolzhaet svoyu strategiyu dezagregatsii [Cisco continues its disaggregation strategy]. *NetStore*. Available at: <https://netstore.su/articles/cisco-prodolzhaet-svoju-strategiyu-dezagregatsii> (accessed April 5, 2023).

Received December 22, 2022

Contributor

Egorov Vladimir B. (b. 1948)—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; VEgorov@ipiran.ru

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ДЛЯ РАБОТЫ С РЕШАТЕЛЕМ plasticStressedFoam НА БАЗЕ ПАКЕТА OpenFOAM

*Д. И. Читалов*¹

Аннотация: Проведено исследование, направленное на создание программного модуля для управления численными экспериментами посредством решателя plasticStressedFoam и его подключение к базовой версии предложенной автором графической оболочки. Работа направлена на оптимизацию процесса заполнения конфигурационных файлов расчетного случая средствами графического интерфейса и автоматизацию запуска решателя plasticStressedFoam, который отвечает за генерацию итоговой численной модели. Определена цель разработки и сформулирован перечень задач, необходимых для ее достижения. Описаны этапы разработки модуля, включая построение диаграмм его структуры и логики применения, выбор и обоснование стека технологий разработки, а также результаты исследования, его научная новизна и практическая значимость. Представлены результаты проверки работоспособности продукта на примере стандартной задачи, решаемой в OpenFOAM с помощью решателя plasticStressedFoam.

Ключевые слова: численное моделирование; механика сплошных сред; графический интерфейс пользователя; OpenFOAM; язык программирования Python; открытое программное обеспечение; решатель plasticStressedFoam; библиотека PyQt; СУБД SQLite

DOI: 10.14357/08696527230211

1 Введение

Настоящее исследование посвящено разработке программного модуля для автоматизации управления одним из этапов численного моделирования задач механики сплошных сред (МСС) на базе пакета OpenFOAM [1]. Речь идет о ключевом этапе численного эксперимента: решении задачи МСС посредством одной из встроенных в OpenFOAM программ-решателей — plasticStressedFoam. Реализация представленного модуля позволит расширить перечень возможностей специалиста при работе с графической оболочкой [2], созданной автором для управления численными экспериментами посредством пакета OpenFOAM.

Это open-source продукт, отвечающий за расчет и построение численной модели объекта или процесса. В перечень моделируемых задач входят проблемы гидродинамики, газовой динамики и механики деформируемого твердого тела. Кроме того, OpenFOAM позволяет проводить вычислительные эксперименты

¹Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии Уральского отделения Российской академии наук, cdi9@yandex.ru

применительно к проблемам, касающимся химических процессов, турбулентности, изменения параметров твердого тела, а также электродинамики.

В базовый дистрибутив OpenFOAM входит большой перечень решателей, список которых расширяется. За счет этого увеличивается перечень проблем МСС, к моделированию которых может применяться пакет OpenFOAM.

Ближайший аналог пакета — программный комплекс ANSYS. Сравнительный анализ продуктов показал, что они практически совпадают по функциональным возможностям. При этом OpenFOAM имеет открытый исходный код, а компания-разработчик стремится к расширению линейки доступных решателей. Библиотека решателей (солверов) включает программные скрипты, написанные на языке программирования C++. Каждый решатель представляет собой алгоритм численного моделирования определенной задачи МСС. Пакет OpenFOAM применяется не только в большинстве отраслей промышленности, но и в науке. Его ключевые достоинства: отсутствие необходимости в приобретении лицензии, многочисленное сообщество исследователей, наличие исчерпывающей документации по продукту.

Принципиальный недостаток OpenFOAM состоит в том, что решатели — это консольные программы, т. е. их запуск специалист осуществляет вручную через терминал. Но перед выполнением запуска решателя требуется подготовка расчетного случая, соответствующего текущей задаче МСС. При этом специалист вручную создает и заполняет файлы с вычислительными параметрами, выполняет запуск утилит, отвечающих за генерацию расчетных сеток (PC). Предложенная автором базовая версия графической оболочки [2] позволила заменить этот подход на работу с графической оболочкой, предполагающей использование традиционных экранных форм. Но в связи с расширением списка доступных решателей требуется и расширение возможностей графической оболочки. Речь идет о создании и интеграции дополнительных программных модулей.

Для пакета OpenFOAM коллективы разработчиков предложили собственные подходы к решению проблемы отсутствия встроенной графической оболочки. Продукты Salome [3], Helyx-OS [4] и Visual-CFD [5] совершенствуются параллельно с реализацией в OpenFOAM новых решателей и утилит, но работа с ними требует приобретения услуг технических специалистов или лицензионного обеспечения. Поэтому актуальность отсутствия стандартного графического интерфейса для OpenFOAM сохраняет актуальность. С 2016 г. автор ведет работу над совершенствованием своей версии графической оболочки для OpenFOAM [2]. За это время разработан и интегрирован набор программных модулей, упрощающих как этап решения (численного моделирования задач МСС), так и подготовки расчетного случая (препроцессинга) [6–8].

Настоящая статья обобщает результаты разработки нового программного модуля, включающего программные компоненты, созданные с помощью одного из языков программирования, и графические компоненты (экранные формы). Это программный модуль для постановки численных экспериментов с помощью решателя plasticStressedFoam.

2 Назначение решателя plasticStressedFoam

В OpenFOAM задачи в области линейной упругой теории механики твердого тела моделируются посредством решателя stressFoam. Но процессы, связанные с механикой таких тел, в реальных условиях крайне нелинейны. Эксперименты, связанные с моделированием нелинейности материала, в частности пластичности в твердом теле, осуществляются с помощью решателя plasticStressedFoam.

При работе с указанным решателем анализируется простейшая совершенная пластичность. Под ней понимается максимальный уровень напряжения, с которым твердое тело может упруго справиться, как только будет достигнут максимальный уровень напряжения. При этом твердое тело подвергнется необратимой деформации без каких-либо увеличений напряжений и нагрузок.

Как и в случае с любой программой-решателем, специалист начинает работу с создания директории расчетного случая, после чего выполняются основные шаги препроцессинга численного эксперимента.

1. Создание конфигурационных файлов, определяющих геометрию расчетной области. В OpenFOAM для генерации РС применяется широкий перечень утилит, в частности утилита blockMesh, обеспечивающая построение блочной сеточной модели. По сути, на данном этапе создается твердотельная геометрическая модель, в рамках которой воспроизводится анализируемый процесс.
2. Запуск программы-решателя, т. е. программы, отвечающей за построение численной модели. При этом в директории расчетного случая автоматически генерируются промежуточные файлы.

Для оценки соответствия построенной модели заявленным перед началом эксперимента условиям выполняется запуск пакета ParaView [9], который обеспечивает визуализацию результатов численного эксперимента. Важно отметить, что математическая модель, заложенная в основу решателя plasticStressedFoam, не требует вмешательства специалиста. Она реализована средствами языка программирования C++ в скриптах дистрибутива OpenFOAM.

3 Постановка целей и задач исследования

Настоящая работа направлена на изучение особенностей применения решателя plasticStressedFoam к экспериментам в области МСС, в частности в области исследования нелинейности материала (идеальной пластичности), и на выявление закономерностей, с ней связанных. Особенности работы с указанным решателем проанализированы в рамках освоения документации OpenFOAM и стандартных демонстрационных примеров, входящих в дистрибутив [10, 11]. Выявлены недостатки существующего подхода, предполагающего применение командной строки.

Выполненное автором исследование направлено на замену традиционного консольного подхода на более удобный пользователю способ, предполагающий применение графических компонентов для подготовки расчетного случая и формирования структуры и наполнения служебных файлов-словарей с конфигурационными характеристиками. Они определяют суть моделируемой задачи МСС. Также в список целей разработки входит реализация системы проверки целостности расчетного случая перед стартом моделирования и реализация механизма валидации конфигурационных параметров, указываемых в служебных файлах расчетного случая.

Поскольку автор продолжает начатое несколько лет назад исследование, то работа указанного программного модуля предполагается в привязке к базовой версии графической оболочки [2]. Интеграция модуля позволит расширить исходный код не только графического интерфейса, но и пакета OpenFOAM. Принцип открытого исходного кода позволяет осуществлять подобные доработки без ущерба характеристикам OpenFOAM.

В рамках работы над достижением поставленной цели перед автором ставится следующий комплекс задач:

- разработка алгоритмической составляющей. Под этим подразумевается определение логики работы модуля, представление ее вначале на языке блок-схем, а затем средствами одного из высокоуровневых языков программирования. Алгоритмическая составляющая должна обеспечивать возможность программного создания директории расчетного случая и всех необходимых служебных файлов, а также возможность программного запуска решателя `plasticStressedFoam`. Помимо перечисленных алгоритмов требуется разработка механизмов для извлечения расчетных параметров, указываемых пользователем в формах, и передачи их в служебные файлы расчетного случая. Также доработка включает модификацию системы хранения данных, так как требуется обеспечение опции сохранения параметров задачи МСС для их последующего редактирования;
- разработка графической составляющей. Речь идет о создании экранных форм и их подключении к базовой версии графической оболочки. Представленный программный модуль должен поддерживать принципы, заложенные в базовой версии интерфейса и не нарушать архитектуру приложения. Модификация графической составляющей также предполагает написание дополнительного программного кода, поскольку компоненты любого программного приложения представляют собой набор выражений на языке программирования. При этом команды языка программирования могут дополняться командами сторонних библиотек.

Также перед автором стоит задача подготовки и отладки программного кода. Это предполагает его написание, проведение модульного и интеграционного тестирования, а также проверку работоспособности на примере различных входных данных.

4 Средства разработки

Поскольку представленный модуль рассчитан на выполнение определенных пользовательских задач и предполагает взаимодействие с пользователем посредством графического интерфейса, он относится к прикладному программному обеспечению, которое, как правило, реализуется на основе многослойной архитектуры, предполагающей существование и взаимодействие нескольких компонентов: слоя графического интерфейса, слоя логики и слоя хранения данных. Каждый из компонентов создается на основе определенной технологии, а к итоговому продукту применяется набор требований. В данном случае в список требований, выдвигаемых к предложенному программному модулю, можно внести следующие позиции:

- **расширяемость.** Используемый стек технологий должен обеспечивать возможность подключения дополнительных программных скриптов и экранных форм;
- **интегрируемость.** У разработчика должна иметься опция подключения созданного продукта к базовой версии приложения;
- **быстрота разработки.** Применяемые языки программирования, библиотеки и технологии должны характеризоваться минимальными сроками для освоения и старта разработки.

Автором определен оптимальный стек для реализации каждого слоя продукта с учетом указанных требований.

1. **Слой графического интерфейса.** Может быть реализован средствами многочисленных библиотек. Для программных решений на базе языка программирования Python популярной библиотекой является PyQt [12], которая позволяет создавать привычные оконные интерфейсы для приложений, работающих на большинстве платформ, в том числе Windows, Android, Linux, Mac и др.
2. **Слой логики.** Простота синтаксиса, универсальность, масштабируемость и поддержка большого сообщества исследователей делает язык Python [13] оптимальным средством разработки программных скриптов любого приложения. Важно, что он не требует приобретения лицензии и имеет минимальный порог для входа, т. е. его освоение по сравнению с другими языками занимает минимальное время.
3. **Слой хранения данных.** Конфигурационные параметры задач МСС, которые предполагается моделировать с помощью plasticStressedFoam, должны быть сохранены для обеспечения возможности последующего редактирования. Для этого оптимально подходят реляционные системы управления базами данных (СУБД), например файлового формата sqlite [14]. Для упрощения работы с SQL-запросами разработчик может подключить ORM-библиотеку, которая обеспечит возможность применения команд на привычном Python-синтаксисе вместо необходимости написания SQL-кода.

К важным элементам можно отнести и выбор среды разработки, т. е. программного обеспечения для набора, отладки кода и проверки его работоспособности. Перечисленные опции реализованы, например, в среде разработки PyCharm [15]. Она позволяет специалисту полностью сконцентрироваться на алгоритмической составляющей и повысить производительность труда. В PyCharm разработчик может пользоваться встроенными утилитами для контроля стиля кода и управления параметрами проекта.

5 Структура и логика работы модуля

Представленное программное решение реализовано по модульному принципу, что упрощает возможность подключения дополнительных блоков. Достоинство такого подхода заключается в том, что над каждым блоком может вести работу отдельная команда специалистов. Благодаря многослойной архитектуре связь компонентов обеспечивается за счет импорта. Это простейший способ организации структуры программных продуктов. В текущем случае он подходит, так

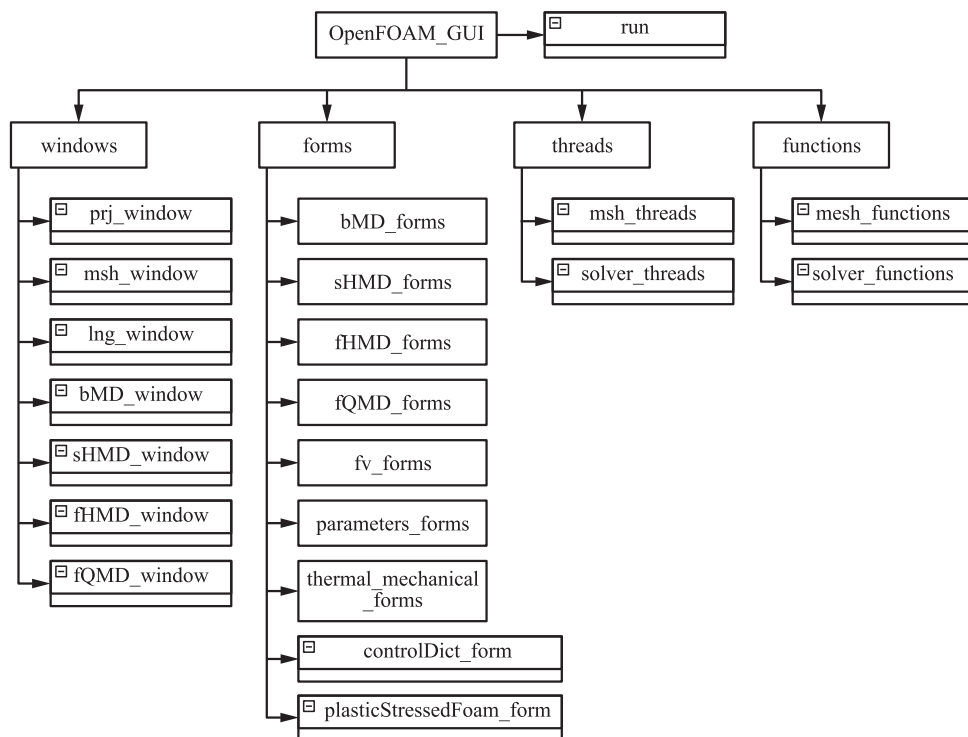


Рис. 1 Структура графической оболочки OpenFOAM_GUI

как приложение функционирует в качестве настольного программного средства. В этом случае многослойная архитектура не влияет на производительность.

На рис. 1 приведена блок-схема, демонстрирующая организационную структуру программы и включающая следующие компоненты:

- (1) служебные файлы с кодом алгоритмов, предназначенных для обеспечения работы экранных форм, находятся в директории windows. Каждый файл соответствует программному скрипту для конкретной экранной формы;
- (2) служебные файлы с программным кодом элементов управления экранных форм (элементов интерфейса), находятся в директории forms;
- (3) программные скрипты, обеспечивающие многопоточность работы приложения, находятся в директории threads;
- (4) дополнительные служебные компоненты приложения, обеспечивают решение вспомогательных задач, таких как вывод служебных сообщений, подсказок, и находятся в директории functions;
- (5) основной запускаемый файл gun.py, служит центральным звеном, связывающим все компоненты приложения в единую систему.

На рис. 2 представлена блок-схема, демонстрирующая алгоритм работы пользователя с модулем для проведения численных исследований на базе утилиты plasticStressedFoam пакета OpenFOAM. Важно отметить, что пользователь полностью избавлен от необходимости работы вручную с расчетным случаем и применения командной строки. Специалист может через графический интерфейс выбрать любой существующий расчетный случай или создать новый, после чего определить свойства расчетной модели, например параметры блочной сетки, и выполнить ее генерацию с последующей визуализацией средствами вспомогательного пакета ParaView. Полученная РС может не соответствовать заявленным требованиям. Тогда специалист перейдет к ее редактированию и повторной генерации.

Представленные шаги завершают этап препроцессинга решения, после чего специалист переходит непосредственно к численному моделированию, т. е. к решению текущей задачи МСС. На этом этапе он заполняет оставшиеся конфигурационные файлы, необходимые для работы с решателем plasticStressedFoam, и выполняет запуск решателя. Процесс вычисления может занять продолжительное время и зависит от доступных вычислительных возможностей устройства. После его завершения численная модель визуализируется и может быть подвергнута корректировке, т. е. этап редактирования конфигурационных файлов продолжается и решатель запускается вновь. Процедура может продолжаться до достижения ожидаемого результата.

6 Результаты исследования

По итогам выполненной работы автором достигнуты все поставленные цели. Создан проект программного модуля для работы с программой-решателем

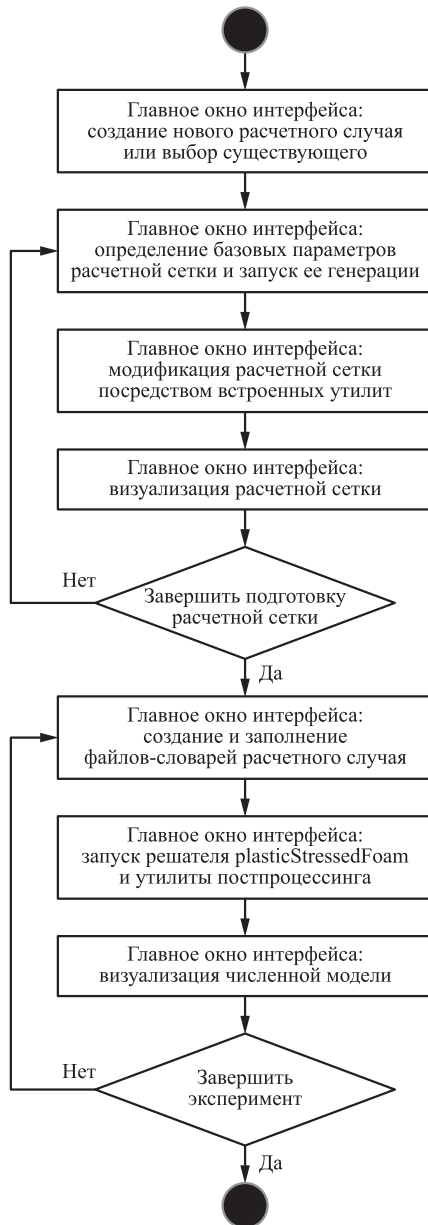


Рис. 2 Логика работы модуля

plasticStressedFoam. Проект реализован с помощью программных инструментальных средств, в частности выбранного языка программирования логики, библиотеки графических компонентов и системы для управления хранением данных. Исходный код набран, протестирован и отлажен с помощью интегрированной среды разработки. Представленный программный модуль функционирует как звено базовой версии графической оболочки благодаря многослойной архитектуре всего приложения [16].

Предложенное программное решение не имеет ограничений в перечне областей применения и рассчитано на большинство отраслей машиностроения, может применяться при моделировании большинства задач МСС, где необходимы возможности решателя plasticStressedFoam. Обязательным условием работы с модулем остается наличие установленного пакета OpenFOAM и пакета визуализации результатов экспериментов ParaView. Обязательное требование — это достаточные вычислительные ресурсы, так как в противном случае проведение численного эксперимента может занять несколько дней.

Работоспособность модифицированной версии графической оболочки проверена на примере одной из базовых учебных задач, входящих в пакет OpenFOAM. Эта задача называется plasticPlateHole и подразумевает численный эксперимент по моделированию характеристик пластиковой пластины с отверстием. На рис. 3

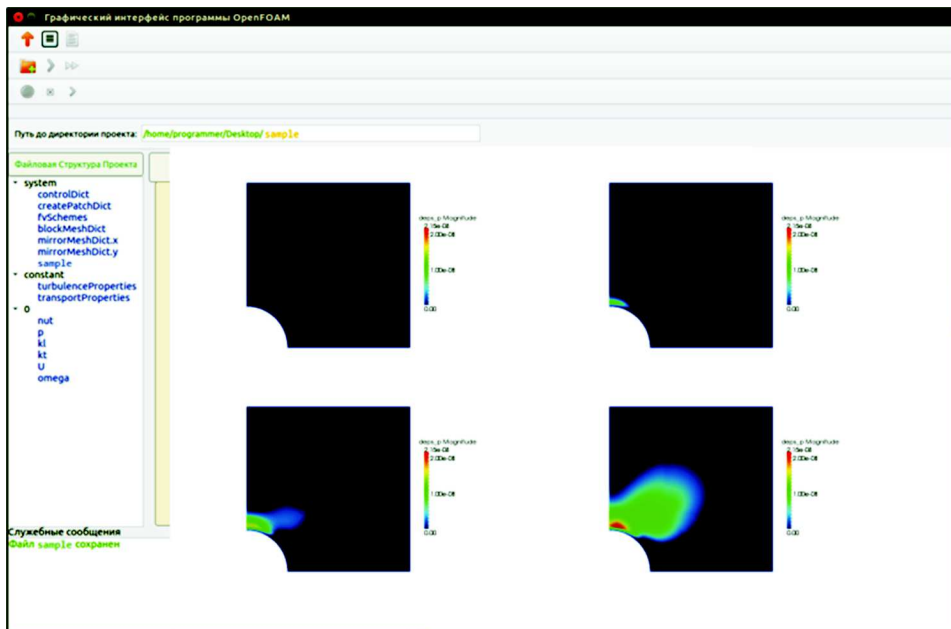


Рис. 3 Результаты численного моделирования задачи МСС на базе решателя plasticStressedFoam

приведены результаты оценки изменения пластичности тела под внешними воздействиями. Постпроцессинг, т. е. визуализация самих результатов, выполнен с помощью пакета ParaView.

7 Заключение

В представленной работе сформулированы итоги исследования, направленного на оптимизацию работы пользователя с пакетом OpenFOAM, применяемом для изучения закономерностей задач МСС при взаимодействии с внешними условиями. Результат оптимизации заключается в разработке программных средств, упрощающих выполнение этапов численного эксперимента при работе с программой-решателем plasticStressedFoam.

Автором исследован классический механизм применения решателя, при котором вся работа выполняется вручную, через терминал. Выявленные особенности работы с указанным решателем перенесены на созданный программный продукт и реализованы в его графической и программной составляющих. В результате расширен исходный код пакета OpenFOAM, что делает его более адаптированным к возможностям коммерческого продукта ANSYS.

В перечень выполненных автором задач вошли следующие:

- разработка программного кода графической составляющей модуля, необходимой для работы с конфигурационными файлами решателя plasticStressedFoam;
- разработка программного кода алгоритмической составляющей приложения, включая скрипты программного заполнения конфигурационных файлов, скрипты запуска вспомогательных утилит OpenFOAM и основной программы-решателя;
- разработка программного кода алгоритмов сохранения и восстановления конфигурационных параметров расчетного случая для обеспечения возможности последующей их корректировки;
- разработка системы защиты приложения от ввода неверных данных и системы проверки комплектности расчетного случая перед запуском численного моделирования.

За счет проведенного исследования и выполненной разработки для пользователей пакета OpenFOAM реализован «дружелюбный» графический интерфейс для работы с решателем plasticStressedFoam, что повышает удобство работы специалиста и производительность его труда при постановке численных экспериментов с помощью указанного решателя. Кроме того, эффективность от применения модуля может выражаться в снижении риска записи в конфигурационные файлы неверных параметров и, как следствие, получения неверных результатов эксперимента.

Литература

1. OpenFOAM. <https://www.openfoam.com>.
2. Читалов Д. И., Меркулов Е. С., Калашиников С. Т. Разработка графического интерфейса пользователя для программного комплекса OpenFOAM // Программная инженерия, 2016. Вып. 12. С. 568–574. doi: 10.17587/prin.7.568-574.
3. Salome. <https://www.salome-platform.org>.
4. HELYX-OS: Open-Source GUI for OpenFOAM. <https://engys.com/products/helyx-os>.
5. Visual-CFD. <https://myesi.esi-group.com/resources/trainings/courses/visual-cfd-openfoam>.
6. Читалов Д. И., Калашиников С. Т. Разработка приложения для подготовки расчетных сеток с градуирующими и изогнутыми краями для программной среды OpenFOAM // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 4. С. 122–135. doi: 10.14357/08696527180412.
7. Читалов Д. И., Калашиников С. Т. Разработка приложения для подготовки расчетных сеток посредством утилиты snappyHexMesh программной среды OpenFOAM // Программные продукты и системы, 2018. Т. 31. № 4. С. 715–722. doi: 10.15827/0236-235X.124.715-722.
8. Читалов Д. И., Калашиников С. Т. Разработка приложения для подготовки расчетных сеток с помощью утилиты foamQuadMesh платформы OpenFOAM // Программная инженерия, 2018. Т. 9. № 7. С. 311–317. doi: 10.17587/prin.9.311-317.
9. Unleash the Power of ParaView. <https://www.paraview.org>.
10. OpenFOAM. User guide. <http://foam.sourceforge.net/docs/Guides-a4/OpenFOAMUserGuide-A4.pdf>.
11. OpenFOAM. Tutorial guide. <https://www.openfoam.com/documentation/tutorial-guide/index.php>.
12. PyQt5 reference guide. <https://doc.qt.io/qtforpython>.
13. Python 3.7 documentation. <https://docs.python.org/3.7>.
14. sqlite3 — DB-API 2.0 interface for SQLite databases. <https://docs.python.org/3/library/sqlite3.html>.
15. PyCharm: IDE для профессиональной разработки на Python. <https://www.jetbrains.com/ru-ru/pycharm>.
16. OpenFOAM_GUI. https://github.com/DmitryChitalov/OpenFOAM_GUI.

Поступила в редакцию 21.10.22

DEVELOPMENT OF A MODULE FOR WORKING WITH THE `plasticStressedFoam` SOLVER BASED ON THE `OpenFOAM` PACKAGE

D. I. Chitalov

South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, Ilmen reserve, Miass, Chelyabinsk Region 456317, Russian Federation

Abstract: The paper describes a study aimed at creating a software module for managing numerical experiments using the `plasticStressedFoam` solver and connecting it to the basic version of the graphical shell proposed by the author. The work is aimed at optimizing the process of filling in the configuration files of the design case using the graphical interface and automating the launch of the `plasticStressedFoam` solver which is responsible for generating the final numerical model. The purpose of the development is determined and a list of tasks necessary to achieve it is formulated. The stages of module development are described including the construction of diagrams of its structure and logic of application, the choice and justification of the stack of development technologies as well as the results of the study, its scientific novelty, and practical significance. The results of the product performance check are presented by the example of a standard problem solved in `OpenFOAM` using the `plasticStressedFoam` solver.

Keywords: numerical simulation; continuum mechanics; graphical user interface; `OpenFOAM`; Python programming language; open source software; `plasticStressedFoam` solver; `PyQt5` library; `SQLite`

DOI: 10.14357/08696527230211

References

1. `OpenFOAM`. Available at: <https://www.openfoam.com> (accessed April 11, 2023).
2. Chitalov, D. I., E. S. Merkulov, and S. T. Kalashnikov. 2016. Razrabotka graficheskogo interfeysa pol'zovatelya dlya programmogo kompleksa `OpenFOAM` [Development of a graphical user interface for the `OpenFOAM` toolbox]. *Programmnaya inzheneriya* [Software Engineering] 7(12):568–574. doi: 10.17586/prin.7.568-574.
3. `Salome`. Available at: <https://www.salome-platform.org> (accessed April 11, 2023).
4. `HELYX-OS`: Open-Source GUI for `OpenFOAM`. Available at: <https://engys.com/products/helyx-os> (accessed April 11, 2023).
5. `Visual-CFD`. Available at: <https://myesi.esi-group.com/resources/trainings/courses/visual-cfd-openfoam> (accessed April 11, 2023).
6. Chitalov, D. I., and S. T. Kalashnikov. 2018. Razrabotka prilozheniya dlya podgotovki raschetnykh setok s graduiruyushchimi i izognutymi krayami dlya programmoy sredy `OpenFOAM` [Development of an application for the preparation of computational

- meshes with graduating and curved edges for the OpenFOAM software environment]. *Systems and Means of Informatics — Sistemy i Sredstva Informatiki* 28(4):122–135. doi: 10.14357/08696527180412.
7. Chitalov, D. I., and S. T. Kalashnikov. 2018. Razrabotka prilozheniya dlya podgotovki raschetnykh setok posredstvom utility snappyHexMesh programmnoy sredy OpenFOAM [Application development for preparing meshes using snappyHexMesh of OpenFOAM]. *Programmnye produkty i sistemy* [Software Systems] 31(4):715–722. doi: 10.15827/0236-235X.031.4.715-722.
 8. Chitalov, D. I., and S. T. Kalashnikov. 2018. Razrabotka prilozheniya dlya podgotovki raschetnykh setok s pomoshch'yu utility foamyQuadMesh platformy OpenFOAM [Application development for meshes preparation using FoamyQuadMesh utility for the OpenFOAM toolbox]. *Programmnaya inzheneriya* [Software Engineering] 9(7):311–317. doi: 10.17587/prin.9.311-317.
 9. Unleash the Power of ParaView. Available at: <https://www.paraview.org> (accessed April 11, 2023).
 10. OpenFOAM. User guide. Available at: <http://foam.sourceforge.net/docs/Guides-a4/OpenFOAMUserGuide-A4.pdf> (accessed April 11, 2023).
 11. OpenFOAM. Tutorial guide. Available at: <https://www.openfoam.com/documentation/tutorial-guide/> (accessed April 11, 2023).
 12. PyQt5 reference guide. Available at: <https://doc.qt.io/qtforpython> (accessed April 11, 2023).
 13. Python 3.7 documentation. Available at: <https://docs.python.org/3.7> (accessed April 11, 2023).
 14. sqlite3 — DB-API 2.0 interface for SQLite databases. Available at: <https://docs.python.org/3/library/sqlite3.html> (accessed April 11, 2023).
 15. PyCharm: IDE dlya professional'noy razrabotki na Python [PyCharm: IDE for professional Python development]. Available at: <https://www.jetbrains.com/ru-ru/pycharm> (accessed April 11, 2023).
 16. OpenFOAM_GUI. Available at: https://github.com/DmitryChitalov/OpenFOAM_GUI (accessed April 11, 2023).

Received October 21, 2022

Contributor

Chitalov Dmitry I. (b. 1989) — junior scientist, South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, Ilmen reserve, Miass, Chelyabinsk Region 456317, Russian Federation; cdi9@yandex.ru

ТЕОРИЯ S-СИМВОЛОВ: ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗНАНИЙ ОБ S-ЗАДАЧАХ

В. Д. Ильин¹

Аннотация: Теория S-символов представляет собой расширенное обобщение теории S-моделирования и рассматривается как часть методологического обеспечения разработок систем искусственного интеллекта в S-среде (включая системы знаний, системы S-моделирования задач и конструирования программ и др.). S-среда, основанная на взаимосвязанных системах S-(символов, кодов, сигналов) служит инфраструктурным основанием реализации информационных технологий различного назначения. В статье представлена вторая часть (из четырех) описания теории. Приведены определения понятий, относящихся к S-задачным объектам (S-задача, S-граф и др.). Дано описание основ конструирования S-задачных объектов (включая построение разрешающих структур на S-задачных графах).

Ключевые слова: теория S-символов; S-задача; S-задачный граф; разрешающая структура; автоматизация программирования

DOI: 10.14357/08696527230212

1 Введение

Представление связей между понятиями в виде *разрешимых S-задач* [S-(представления, распознавания и др.)] — необходимое условие построения методологически значимых задачных S-объектов (*составных S-задач, S-задачных графов*) в *символьно-кодowo-сигнальной среде (S-среде)* [1, 2].

Подход автора к *моделированию задач (из произвольной предметной области)* на начальном этапе (1986–1989 гг.) исследований формировался как альтернатива подходу, реализованному в инструментальной системе программирования *Приз* [3]. В этой системе прослеживается стремление разработчиков следовать популярной в 1980-е гг. методологии *автоматического синтеза программ* [4]. Приверженцы автоматического синтеза программ рассматривают спецификации задач и процесс конструирования программ (путем формальных преобразований спецификации задачи) как математические сущности.

Автор данной статьи (имея опыт разработки успешно эксплуатируемых программных систем) полагает, что спецификация нетривиальной задачи и программа соотносятся так же, как проектная документация (в инженерном деле) и изделие,

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

которое предстоит изготовить. Пригодность изделия (его соответствие проектной документации) можно определить только путем тестов, разработанных специалистами, хорошо знающими, что *должен уметь испытуемый и какими свойствами (включая надежность и безопасность) должен обладать*.

Запись и выделение фрагментов текста. Для записи формул и выделения определений, замечаний и примеров в составе *S-сообщений* используются средства языка *TSM-комплекса* (*TSM: textual symbolic modeling*)¹.

Язык *TSM* имеет средства записи формализованных выражений (без применения редакторов формул), выделения частей *S-сообщений* и замены выбранными сокращениями часто повторяющихся фрагментов. Для выполнения описаний достаточно стандартной клавиатуры и набора средств, имеющихся в составе текстовых редакторов пакетов *LibreOffice*, *OpenOffice* или др.

В статье применены следующие *TSM-средства* выделения фрагментов текста:

□ ⟨фрагмент описания⟩ □ ≈ определение (здесь и далее символ ≈ заменяет слово «означает»);

◇ ⟨фрагмент описания⟩ ◇ ≈ замечание;

○ ⟨фрагмент описания⟩ ○ ≈ пример.

Курсивом (и полужирным) выделены первые вхождения названий понятий и фрагменты описания, к которым автор хочет привлечь внимание.

2 S-задачные объекты: описание и конструирование

□ **S-задача** $\approx \{Formul, Rulsys, Alg, Prog\}$, где *Formul* — постановка *S-задачи*; *Rulsys* — множество систем *обязательных* и *ориентирующих требований к решению S-задачи*, поставленных в соответствие *Formul*; *Alg* — объединение множеств алгоритмов, каждое из которых соответствует одному элементу из *Rulsys*; *Prog* — объединение множеств *S-программ*, каждое из которых поставлено в соответствие одному из элементов *Alg*.

Постановка *S-задачи* $Formul \approx \{Mem, Rel\}$, где *Mem* — множество понятий задачи, на котором задано разбиение $Mem = Inp \cup Out$ ($Inp \cap Out = 0$) и совокупность *Rel* связей между понятиями, определяющая бинарное отношение $Rel < Inp * Out$.

Множество *Mem* называем *памятью задачи*, а *Inp* и *Out* — ее *входом* и *выходом*, значения которых предполагается соответственно задавать и искать. □

В общем случае множества *Rulsys*, *Alg* и *Prog* могут быть пустыми: числа их элементов зависят от степени изученности *S-задачи*.

Для каждого элемента из *Rulsys*, *Alg* и *Prog* задано описание применения.

Описания применения элементов *Rulsys* включают спецификацию типа *решиателя задачи* (○ автономная *S-машина*, сетевая кооперация *S-машин*, кооперация ⟨человек–*S-машина*) и др. ○), требование к информационной безопасности

¹Ильин В. Д. Символьное моделирование // Большая российская энциклопедия (электронная версия). https://old.bigenc.ru/technology_and_technique/text/4010980.

и др. Описания применения элементов из *Alg* включают данные о допустимых режимах работы решателя S-задачи (○ автоматический локальный, автоматический распределенный, интерактивный локальный и др. ○), о требованиях к получаемому результату и др. Описания применения S-программ включают данные о языках программирования, операционных системах и др. ◇ Каждая программа сопровождается ссылками на наборы тестовых примеров и примеров ее применения. ◇

□ **S-алгоритм** — система правил решения задачи (соответствующая одному из элементов *Rulsys*), позволяющая за конечное число шагов поставить в однозначное соответствие заданному набору *данных*, принадлежащему *Inp*, результирующий набор, принадлежащий *Out*. □

□ **S-программа** — реализованный (на языке программирования высокого уровня, машинно-ориентированном языке и/или в системе машинных команд) S-алгоритм, представленный в форме сообщения, определяющего поведение S-машинного решателя задачи с заданными свойствами. Существует в S-(*символьном, кодовом и сигнальном*) воплощениях, связанных отношениями трансляции. □

□ **S-данные** — S-сообщение, необходимое для решения некоторой S-задачи или совокупности S-задач, представленное в форме, рассчитанной на прием, распознавание, преобразование и интерпретацию решателем S-задачи (программой S-машины или человеком).

S-(*специализация [1] сообщения*) (*S-message*) по параметру *получатель S-сообщения* (*S-recipient*), значением которого является *решатель S-задачи* (*S-solver*): $S\text{-data} \approx S\text{-message} [::S\text{-recipient} = S\text{-solver}]$. □

Конструирование S-задачных объектов. Связи по памяти между S-задачами определяются тремя типами функций, каждая из которых является функцией двух аргументов и позволяет поставить в соответствие паре S-задач некоторую третью S-задачу, построенную из этой пары.

□ S-задача *a* связана с S-задачей *b* по памяти, если существует хотя бы одна пара элементов $\{elemMem^a, elemMem^b\}$, принадлежащих памяти Mem^a S-задачи *a* и памяти Mem^b S-задачи *b*, относительно которой определено общее означивание (элементы имеют одно и то же множество значений).

Если J и H — множества S-задач, $D \leq J * J$ и каждой паре (j^i, j^k) элементов из D ставится в соответствие определенный элемент из H , то задана *функция связи по памяти* $h \approx conn(j^i, j^k)$. При этом D называем *областью определения функции conn* и обозначаем D^{conn} . Множество $R \approx \{h : elem H; h \approx conn(j^i, j^k); j^i : elem D^{conn}, j^k : elem D^{conn}\}$ называем *областью значений функции conn*. □

Тип связи по памяти S-задач зависит от содержимого пересечения по памяти: составлена *связь из элементов выхода одной и входа другой S-задачи, либо из элементов выходов S-задач или из элементов их входов, либо же связь получена путем комбинации предыдущих способов.*

□ *Элементарная S-задачная конструкция* — S-задачная пара. Любая S-задачная конструкция, в свою очередь, может быть использована как составляющая еще более сложной S-задачной конструкции. □

□ *Система pS знаний об S-задачных объектах* (далее называемых р-объектами) $\approx \langle pA, lng, intr \rangle$, где pA — задачная область; lng — язык спецификации р-объектов; $intr$ — интерпретатор на pA спецификаций искомым р-объектов. □

□ Если P — множество р-объектов, а $A < P$ — его непустое подмножество, при этом в A (содержащем не менее двух элементов) не существует ни одного элемента, который не был бы связан по памяти хотя бы с одним из элементов A , то **S-модель ра задачной области pA** — это р-объект, который задается парой (память mem^A множества S-задач A задачной области pA), (семейство $rul(mem^A)$ связей, заданных на mem^A). Непустое множество mem^A элементов памяти разбито на три подмножества: входов inp^A S-задач, их выходов out^A и подмножество or^A , каждый из элементов которого является и входом, и выходом некоторых S-задач. Любое одно из этих подмножеств может быть пустым; могут быть пустыми одновременно inp^A и out^A . В отличие от памяти S-задачи, состоящей из входа и выхода, память S-задачной области содержит подмножество or элементов памяти, каждый из которых может быть или задан (как входной), или вычислен (как выходной). Такие элементы памяти называем *обратимыми*, а or — подмножеством *обратимых элементов*. Подмножество inp называем подмножеством *задаваемых*, а подмножество out — подмножеством *вычисляемых* элементов mem^A . □

S-модель ра задачной области pA служит для интерпретации составленных на языке lng спецификаций искомым S-задачными объектами. Интерпретация заключается в постановке в соответствие некоторому подмножеству (или паре подмножеств) памяти mem^A некоторой подобласти S-задачной области pA , названной *разрешающей S-структурой*. Интерпретация спецификации искомого р-объекта на pA — конструктивное доказательство существования разрешающей S-структуры.

□ **S-задачный граф** — представление S-задачной области, рассчитанное на реализацию р-конструирования и формализацию S-задачных знаний.

Множество вершин этого графа, составленное из S-задачных объектов, называется его *S-задачным базисом* и обозначается *p-basis*.

Ребро S-задачного графа — пара вершин с непустым пересечением по памяти.

Нагрузка ребра определяется множеством всех пар элементов памяти, входящих в это пересечение. *Память вершины* — память S-задачи (или S-задачной области), которую вершина представляет. □

□ *Составная задача $comp$* — подобласть S-задачной области pA , которая содержит не менее двух элементов из множества S-задач A и на памяти которой задано разбиение: $mem^{comp} = inp^{comp} \cup out^{comp}$; $inp^{comp} \cap out^{comp} = \emptyset$, определяющее вход inp^{comp} и выход out^{comp} составной S-задачи. Составной S-задаче

поставлен в соответствие ориентированный S-задачный граф, вершинами которого служат S-задачи, помеченные их именами. \square

В зависимости от состава вершин определены следующие *типы S-задачных графов*: U-граф имеет множество вершин только из S-задач, не представленных S-задачными конструкциями; в C-графе хотя бы одна вершина представлена составной S-задачей и нет вершин, представленных S-задачными областями; в G-графе не менее одной вершины представлено S-задачной областью (остальные могут быть составными S-задачами и/или S-задачами, не представленными S-задачными конструкциями).

Разрешающие структуры на S-задачных графах. G-графы служат средством формализации знаний о p -объектах. \diamond Возможность существования в S-задачном графе одной или нескольких вершин, являющихся S-задачными областями, имеет принципиальное значение для формализации S-задачных знаний. \diamond

Искомая S-задачная конструкция задается спецификацией, содержащей описание памяти и ограничений на число S-задачных узлов (и, если необходимо, ограничений, связанных с размером S-задачи, точностью результата и др.).

Спецификация интерпретируется на S-задачном графе, который служит представлением интересующей конструктора S-задачной области.

Средством интерпретации спецификаций служит механизм конструирования на S-задачном графе.

Интерпретация на U-графе в процессе S-задачного конструирования заключается в постановке в соответствие подмножеству (или паре подмножеств) элементов памяти U-графа такого подграфа, память которого находилась бы в заданном отношении к введенному подмножеству (или паре подмножеств). Интерпретации на C- и G-графах аналогичны интерпретации на U-графе.

\square S-задача t представима на S-задачном графе $graph$, если ее вход inp^t содержится в подмножестве $Giv^{graph} \cup Or^{graph}$, а выход out^t — в подмножестве $Comput^{graph} \cup Or^{graph}$ памяти графа $graph$. При этом существует не менее одной S-задачи из базиса графа $graph$, вход которой содержится в inp^t или совпадает с ним. \square

\square Разрешающей структурой $solv^t$ на S-задачном графе $graph$, поставленной в соответствие некоторой задаче t , называем подграф с минимальным числом S-задачных вершин, на котором задача t представима. \square

\square Интерпретация S-задачной вершины U-графа (или C-графа) в процессе поиска разрешающей структуры заключается в соотношении означенности входа и выхода.

Правила интерпретации S-задачной вершины:

- если полностью означен вход, то полностью означен и выход;
- если означенным полагается хотя бы один элемент выхода, то означенным полагается полностью вход.

Механизм построения разрешающих структур ставит в соответствие спецификации исходной S-задачи подграф на S-задачном графе путем реализации трех типов поведения в соответствии с тремя типами запросов на конструирование:

- (1) для заданных подмножеств x и y ($x \cap y = 0$) памяти $mem^{t\text{-graph}}$ S-задачного графа тогда существует разрешающая структура $solv^{xy}$ (с минимальным числом S-задачных вершин, вход которой определен посредством x , а выход — посредством y), когда найдется подграф G , множество вершин которого включает хотя бы одну вершину с разрешимой S-задачей, а объединение выходов вершин подграфа G содержит подмножество y (или совпадает с ним);
- (2) для подмножества x , заданного на памяти $mem^{t\text{-graph}}$, тогда найдется разрешающая структура $solv^x$, вход которой определен подмножеством x , а выход является непустым подмножеством памяти S-задачного графа, включающим максимальное число элементов, которые могут быть определены при заданном x , когда $x \cap Comput = 0$ ($Comput < mem^{t\text{-graph}}$) и найдется хотя бы одна вершина с разрешимой S-задачей;
- (3) для подмножества y , заданного на $mem^{t\text{-graph}}$, тогда найдется разрешающая структура $solv^y$ (с минимальным числом S-задачных вершин, выход которой содержит y , а вход составлен из элементов, принадлежащих Giv), когда $y \cap Giv = 0$.

Для каждого из трех типов запросов получено конструктивное доказательство существования разрешающей структуры соответствующего типа. \square

После того как найдена разрешающая структура, становится осуществимым процесс ее *конкретизации* [1] в соответствии со спецификацией условий применения исходной задачи.

3 Заключение

Представлена вторая из четырех частей *теории S-символов*, рассматриваемой как часть методологического обеспечения разработок систем искусственного интеллекта (○ систем знаний, систем автоматизации программирования и др. ○) в цифровой среде. Даны определения S-задачных объектов и описание основ их конструирования (включая *построение разрешающих структур на S-задачных графах*).

Литература

1. *Ilyin V. D.* Symbolic modeling (S-modeling): An introduction to theory // Artificial intelligence trends in systems / Ed. R. Silhavy. — Lecture notes in networks and

systems ser. — Cham: Springer, 2022. Vol. 502. P. 585–591. doi: 10.1007/978-3-031-09076-9_54.

2. Илын В. Д. Теория S-символов: концептуальные основания // Системы и средства информатики, 2023. Т. 33. Вып. 1. С. 126–134. doi: 10.14357/08696527230112.
3. Кахро М. И., Калья А. П., Тыгуу Э. Х. Инструментальная система программирования ЕС ЭВМ (ПРИЗ). — М.: Финансы и статистика, 1988. 181 с.
4. Manna Z., Waldinger R. Knowledge and reasoning in program synthesis // Artif. Intell., 1975. Vol. 6. No. 2. P. 175–208. doi: 10.1016/0004-3702(75)90008-9.

Поступила в редакцию 01.03.23

THEORY OF S-SYMBOLS: FORMALIZATION OF KNOWLEDGE ABOUT S-PROBLEMS

V. D. Ilyin

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

Abstract: The theory of S-symbols is an extended generalization of the theory of S-modeling. It is considered as a part of the methodological support for the development of artificial intelligence systems in the S-environment (including knowledge systems, systems of S-modeling of problems and program design, etc.). The S-environment based on interconnected systems of S-(symbols, codes, signals) serves as the infrastructural basis for the implementation of information technologies for various purposes. The article presents the second part (out of four) of the description of the theory. Definitions of concepts related to S-problem objects (S-problem, S-problem graph, etc.) are given. The basics of designing S-problem objects (including the construction of resolving structures on S-problem graphs) are described.

Keywords: theory of S-symbols; S-problem; S-problem graph; resolving structure; programming automation

DOI: 10.14357/08696527230212

References

1. Ilyin, V. D. 2022. Symbolic modeling (S-modeling): An introduction to theory. *Artificial intelligence trends in systems*. Ed. R. Silhavy. Lecture notes in networks and systems ser. Cham: Springer. 502:585–591. doi: 10.1007/978-3-031-09076-9_54.
2. Ilyin, V. D. 2023. Teoriya S-simvolov: Kontseptual'nye osnovaniya [Theory of S-symbols: Conceptual foundations]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 33(1):126–134. doi: 10.14357/08696527230112.

3. Kakhro, M. I., A. P. Kal'ya, and E. Kh. Tyugu. 1988. *Instrumental'naya sistema programmirovaniya ES EVM (PRIZ)* [The instrumental programming system ES computer (PRIZ)]. Moscow: Finance and Statistics. 181 p.
4. Manna, Z., and R. Waldinger. 1975. Knowledge and reasoning in program synthesis. *Artif. Intell.* 6(2):175–208. doi: 10.1016/0004-3702(75)90008-9.

Received March 1, 2023

Contributor

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., Moscow119333, Russian Federation; vdilyin@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА CHAID В 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 применению метода деревьев классификации на базе алгоритма CHAID для автоматического заполнения информационных лагун в наборе исторических фактов с целью определения потенциально перспективных направлений исследования. Приведено описание алгоритма и сделана оценка достоверности его результатов при высокой доле пропущенных значений в данных. Оценена доля пропусков в основных источниках множественных фактов и сделан вывод принципиальной применимости и эффективности алгоритма с учетом специфики технологии. Также показано, что алгоритм CHAID позволяет развить и дополнить существующие в технологии средства определения аномалий в конкретно-исторических данных.

Ключевые слова: конкретно-историческое исследование; распределенная технология; алгоритм CHAID; пропущенные данные; аномалии

DOI: 10.14357/08696527230213

1 Введение

Поддержка конкретно-исторических исследований стала одной из актуальных задач современности, что обусловлено 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 в этой технологии организованы в форме семантической сети. Узлы сети представляют собой именованные универсальные классы объектов. Факты задаются

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

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

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

Данные, описывающие историко-биографические факты, обладают свойством фрагментарности и противоречивости. Поиск и получение этих фактов — необходимая и наиболее трудоемкая стадия биографического исследования, связанная с работой в архивах и просмотром огромного числа документов. Дальнейшая работа состоит в сопоставлении фактов между собой и с нормальми (наборами правил, регламентирующих зависимости между фактами) с целью взаимоувязывания и разрешения противоречий [5]. Заполнение информационных лагун на первой стадии исследования представляет собой не только итерационный, но и ветвящийся процесс, поскольку направления поиска информации определяются результатами второго этапа. В [6] описан подход, позволяющий снизить трудоемкость этого процесса за счет автоматического определения потенциально перспективных направлений исследования. Подход заключается в формировании гипотез посредством автоматического заполнения информационных лагун в наборе фактов, описывающих объект исследования, на базе процедуры импутации данных [7], используемой в задачах анализа данных и машинного обучения. Анализ методов импутации данных с учетом особенностей технологии ПККИИ и специфики конкретно-исторического исследования показал целесообразность построения механизма автоматического формирования гипотезы с опорой на метод деревьев классификации на базе алгоритма CHAID. Целью данной статьи ставится оценка эффективности данного алгоритма, а также выявление его дополнительных возможностей в условиях технологии ПККИИ.

2 Алгоритм CHAID

Алгоритм CHAID — один из методов анализа с помощью дерева решений [8]. В качестве исходных данных метода выступает выборка, представленная в форме таблицы, содержащей значения набора признаков некоторой совокупности объектов. Один из признаков содержит классы, к которым относятся объекты. Данный признак называется зависимым (переменная отклика). Остальные, независимые, признаки (предикторы) позволяют прогнозировать принадлежность объектов к тому или иному классу. Применительно к задачам импутации в качестве переменной отклика выступает категориальная переменная, содержащая пропуски. Предикторы используются для построения правил прогнозирования, которые позволяют выявить закономерность и импутировать значения переменной отклика.

Принцип любого алгоритма построения деревьев решений — разбить имеющуюся выборку на группы по какому-либо основанию. В CHAID таким основанием становится связь предикторов и отклика, и алгоритм нацелен на максимизацию этой связи через отбор предикторов с наибольшим значением статистики хи-квадрат (χ^2). На первом этапе работы алгоритма рассматриваются двумерные таблицы сопряженности между откликом и каждым предиктором.

В каждой таблице вычисляется значение χ^2 , и предиктор, для которого в паре с откликом это значение оказывается наибольшим, становится первым из разделяющих, т. е. образует первый ярус дерева. Следующей задачей для алгоритма становится объединение в узел таких категорий этого предиктора, связь которых с откликом одинакова (статистически значимо не различается). После объединения необходимых категорий рассматриваемого предиктора алгоритм переходит на следующий ярус и повторяет все описанные этапы уже в каждом из полученных узлов. Описанные шаги повторяются в новых узлах, и построение дерева заканчивается, когда в наборе данных не остается предикторов, значимо связанных с откликом. Итогом анализа становится схема в виде дерева. Терминальные узлы содержат информацию о полученных группах наблюдений, включая признаки, по которым эти группы можно описать, и распределение отклика внутри этих групп, описывающее характер связи между ним и выделенными признаками [9].

3 Пропущенные данные и достоверность результатов

Одно из преимуществ алгоритма CHAID — корректная обработка пропущенных значений в предикторах без их удаления или замены на валидные. Пропуски рассматриваются как единая категория независимой переменной, которая при построении модели присоединяется к наиболее похожему по распределению отклика узлу. В [10] была принята попытка с помощью статистического эксперимента установить, насколько корректно CHAID определяет пропущенные значения по узлам дерева, и определить, к каким последствиям приводит включение пропусков в анализ. Анализ строился в разрезе трех условий экспериментов: расположения переменной по отношению к корню, точности исходного дерева и доли пропусков. Всего были проведены 780 экспериментов на сгенерированной выборке из 3000 наблюдений.

Результаты экспериментов показали, что в целом CHAID корректно определяет пропуски по узлам: в большинстве случаев узлы, к которым были присоединены пропуски, располагаются на корректной глубине, объединяют верные категории независимой переменной и содержат правильное распределение зависимой переменной, т. е. воспроизводят действительную структуру связей, заложенных в данных. Однако наихудшие результаты в присоединении пропусков к категориям наблюдаются в случае, когда их доля очень велика (50% и более), — независимо от прочих условий. Были сформулированы следующие выводы.

1. Если исследователь преследует только цель прогноза (классификации или регрессии), то CHAID успешно справляется с этой задачей и при наличии пропусков.
2. Решение, полученное при слишком высокой доле пропусков (50%), часто не соответствует заложенной структуре связей в данных — чаще, чем в половине

случаев. Вероятность получить при таком условии адекватное решение очень низка.

Поскольку в технологии ПКИИ алгоритм CHAID предполагается использовать в рамках механизма автоматического формирования гипотез, т. е. в прогнозных целях, сам факт наличия пропусков не препятствует использованию алгоритма в технологии. Но, поскольку, как показано выше, данные, описывающие историко-биографические факты, обладают свойством фрагментарности, доля пропусков может быть высока, и в каких-то случаях это может приводить к некорректным выводам. Сам по себе этот факт не критичен, поскольку формируемые данные не воспринимаются как достоверная информация, на которую исследователю допустимо опираться в своих выводах, а только как гипотеза, позволяющая наряду с другими аргументами выбрать приоритетное направление поиска на первой стадии исследования. Но для вывода об эффективности использования алгоритма CHAID в технологии ПКИИ необходимо оценить среднюю долю пропусков в данных хотя бы на качественном уровне.

Как показано в [6], источниками множественных фактов в технологии ПКИИ могут служить:

(1) *автоматические обработки нарративов.*

Технология ПКИИ имеет в своем составе систему Т-парсер [11], предназначенную для автоматического извлечения фактов из текстов историко-биографической направленности на естественном языке повествовательного характера (нарративных источников);

(2) *исторические реестры номинативного типа.*

Номинативные (содержащие персональную информацию с указанием имени собственного) исторические источники можно разделить на одиночные, содержащие информацию об одной персоне или одной семье (метрические выписи, посемейные списки и т. д.), и реестры, содержащие информацию о множестве персон или семей (метрические книги и т. д.). Номинативные исторические реестры, обрабатываемые исследователем как ручную, так и автоматически с помощью системы Т-парсер, могут служить источником множественных однотипных фактов;

(3) *разрозненные одиночные номинативные источники.*

Поскольку технология ПКИИ была построена на принципах сотворчества и краудсорсинга (мобилизации ресурсов широкого круга добровольцев посредством информационных технологий), ее данные, организованные в форме семантической сети, пополняются независимо различными исследователями. Информация, найденная одним пользователем в рамках своего исследования, может быть доступна другим пользователям. Из этого следует, что разрозненные одиночные номинативные источники, а также фрагменты реестров номинативного типа, обработанные разными пользователями, могут быть источниками множественных однотипных фактов.

Как можно видеть из данного перечня, основным источником однотипных фактов, необходимых для работы алгоритма CHAID, остаются исторические реестры номинативного типа. По опыту проведения конкретно-исторических исследований [12, 13] наиболее востребованным и массовым источником генеалогической информации и информации по локальной истории населения являются метрические книги — реестры актов гражданского состояния. Хотя, к сожалению, целый ряд метрических книг не сохранился либо был безвозвратно утрачен в первую треть XX в., сохранившиеся метрические книги можно считать относительно достоверным источником. Сведения метрических книг имели важное государственное значение, которое возросло после придания им статуса актов состояния, возросла также необходимость их защиты от фальсификации и утрат. Метрические книги имеют систему защиты, которая складывалась сразу же с момента их возникновения. Главная мера — ведение в двух экземплярах (приходской и консисторский). По синодскому указу 1779 г. дважды в год осуществлялось свидительство метрических книг благочинным. А в указе от 17 мая 1802 г. «О содержании в предписанном порядке метрических книг» Синод выдвинул требование ведения метрических книг с большей строгостью, а главное — консисторское начальство добивалось их реального выполнения [14]. Отсюда вытекает, что в большинстве случаев в подборке множественных фактов, используемых в качестве данных для применения алгоритма CHAID, не следует ожидать слишком высокой доли пропусков (50% и более). Это означает, что применение алгоритма CHAID в технологии ПКИИ с целью автоматического формирования гипотез может быть весьма эффективно.

4 Использование CHAID в задаче поиска аномалий

В технологии ПКИИ имеется потребность в механизме автоматического поиска аномалий в конкретно-исторических данных [15]. Эта потребность объясняется тем, что работа исследователя на втором этапе исследования состоит в сопоставлении выявленных фактов с регламентирующими правилами, законами, традициями и т. п. (нормальными) и между собой с целью взаимоувязывания и разрешения противоречий. Противоречие в этом случае рассматривается как потенциальное, поскольку в результате проверки пользователем данное сочетание фактов может найти какое-то рациональное объяснение. Поэтому вместо противоречия следует говорить об обнаружении аномального сочетания фактов или об аномальном объекте, атрибутами которого выступают рассматриваемые факты. Автоматическая обработка текстовых источников конкретно-исторических данных может порождать большое число узлов семантической сети, ручной поиск аномалий в которой может быть очень трудоемок. Поэтому в [16] был предложен и проработан подход к автоматическому поиску аномалий, основанный на кластерном анализе. Выявление аномалий при этом осуществляется в режиме *Unsupervised* и строится на одном из следующих предположений:

- нормальные экземпляры данных относятся к кластеру данных, в то время как аномалии не принадлежат ни к одному из кластеров;
- нормальные данные ближе к центру кластера, а аномальные — значительно дальше.

Данный подход позволяет эффективно находить аномалии в узлах семантической сети, предназначенной для хранения конкретно-исторической информации в технологии ПКИИ, но не порождает информации о предполагаемых неаномальных значениях таких узлов. Данная информация была бы полезна пользователю технологии, поскольку из-за специфики конкретно-исторического исследования выявление противоречия вместо сужения объема информации дает импульс новой итерации поиска, для чего необходим соответствующий ориентир. Применение метода импутации на основе алгоритма CHAID к аномальным узлам, выявленным с помощью метода кластеризации, позволяет получить предполагаемые неаномальные значения данных узлов.

Кроме того, как показано в [17], методы деревьев классификации, к которым относится алгоритм CHAID, также позволяют решать задачи выявления аномалий в данных. Аномальным значениям свойственно оказываться в листьях с небольшой глубиной, тогда как для разбиения кластера нормальных данных гиперплоскостями дереву требуется построить еще несколько уровней, число которых пропорционально размеру кластера; следовательно, пропорциональна и оценка для лежащих в нем точек. Таким образом, кластеры малых размеров, потенциально относящиеся к аномальным, будут состоять из объектов с более низкой оценкой, чем объекты из кластеров нормальных данных. Такой метод автоматического выявления аномалий может применяться в технологии ПКИИ как дополнительный по отношению к методу, основанному на кластерном анализе.

5 Выводы

Интеграция в технологию ПКИИ механизма автоматического формирования гипотезы о значении узла семантической сети, соответствующему лакуне в наборе фактов, описывающих объект исследования, на базе алгоритма CHAID может существенно упростить и повысить эффективность такой ручной неформальной процедуры, зависящей исключительно от опыта и квалификации исследователя, как выбор направления поиска при проведении конкретно-исторического исследования.

Дополнительное преимущество использования алгоритма CHAID в технологии ПКИИ заключается в развитии на его основе механизма автоматического выявления аномалий в конкретно-исторических данных.

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.* Механизм формирования гипотез в технологии поддержки конкретно-исторических исследований // Системы и средства информатики, 2023. Т. 33. № 1. С. 135–145. doi: 10.14357/08696527230113.
7. *Фомина Е. Е.* Обзор методов и программного обеспечения для восстановления пропущенных значений в массивах социологических данных // Гуманитарный вестник, 2019. № 4(78). 12 с.
8. *Бова А. А.* Деревья решений как техника добычи данных // Социология: теория, методы, маркетинг, 2002. № 1. С. 128–136.
9. *Жучкова С. В., Ротмистров А. Н.* Поиск многомерной связи категориальных признаков: сравнение CHAID, логлинейного анализа и множественного анализа соответствий // Мониторинг общественного мнения: Экономические и социальные перемены, 2019. № 2. С. 32–53.
10. *Жучкова С. В., Ротмистров А. Н.* Возможность работы с пропущенными данными при использовании CHAID: результаты статистического эксперимента // Социология: методология, методы, математическое моделирование, 2018. № 46. С. 85–122.
11. *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.
12. *Пашинин А. В.* Метрические книги как источник составления родословных // Власть, 2012. № 11. С. 198–201.
13. *Винник М. В.* Метрические книги как источник по истории населения России // Демоскоп Weekly, 2012. № 535–536. <http://www.demoscope.ru/weekly/2012/0535/analit012.php>.
14. *Антонов Д. Н., Антонова И. А.* Метрические книги России XVIII–начала XX в. — М.: РГГУ, 2006. 384 с.
15. *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.

16. *Адамович И. М., Волков О. И.* Алгоритмы кластеризации для технологии поддержки конкретно-исторических исследований // Системы и средства информатики, 2022. Т. 32. № 4. С. 112–123. doi: 10.14357/08696527220411.
17. *Груздев А. В.* Прогнозное моделирование в IBM SPSS Statistics, R и Python. Метод деревьев решений и случайный лес. — М.: ДМК Пресс, 2018. 642 с.

Поступила в редакцию 17.01.23

APPLICATION OF THE CHAID ALGORITHM IN THE 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 investigation 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 application of the decision tree method based on the CHAID algorithm to automatically fill information gaps in the set of historical facts in order to determine potentially promising areas of research. The algorithm is described and the reliability of its results with a high proportion of missing values in the data is evaluated. The proportion of lacunas in the main sources of multiple facts is estimated and the conclusion of the applicability in principle and the effectiveness of the algorithm is made taking into account the specifics of the technology. It is also shown that the CHAID algorithm develops and supplements the means of anomalies in concrete historical data detecting existing in the technology.

Keywords: concrete historical investigation; distributed technology; CHAID algorithm; missing data; anomalies

DOI: 10.14357/08696527230213

References

1. Gribach, S. V. 2010. Issledovanie semeynykh krizisov posredstvom psikholingvisticheskogo eksperimenta [The study of family crises through a psycholinguistic experiment]. *Sborniki konferentsiy NIT's Sotsiosfera* [Conference Proceedings NIC Sociosfera] 6:45–54.
2. Adamovich, I. M., and O. I. Volkov. 2016. Tekhnologiya raspredelenogo 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. 2023. Mekhanizm formirovaniya gipotez v tekhnologii podderzhki konkretno-istoricheskikh issledovaniy [Hypothesis formation mechanism in the technology of concrete historical investigation support]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 33(1):135–145. doi: 10.14357/08696527230113.
 7. Fomina, E. E. 2019. Obzor metodov i programmno obespecheniya dlya vosstanovleniya propushchennykh znacheniy v massivakh sotsiologicheskikh dannykh [Review of software and methods for recovering missing values in sociological data sets]. *Humanities Bulletin BMSTU* 4(78). 12 p. doi: 10.18698/2306-8477-2019-4-611.
 8. Bova, A. A. 2002. Derev'ya resheniy kak tekhnika dobychi dannykh [Decision trees as a data mining technique]. *Sotsiologiya: Teoriya, metody, marketing* [Sociology: Theory, methods, and marketing] 1:128–136.
 9. Zhuchkova, S. V., and A. N. Rotmistrov. 2019. Poisk mnogomernoy svyazi kategorial'nykh priznakov: Svrnenie CHAID, loglineynogo analiza i mnozhestvennogo analiza sootvetstviy [In search of multivariate associations: Comparison of CHAID, log-linear analysis, and multiple correspondence analysis]. *Monitoring obshchestvennogo mneniya: ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny* [Monitoring of Public Opinion: Economic and Social Changes] 2(150):32–53. doi: 10.14515/monitoring.2019.2.02.
 10. Zhuchkova, S. V., and A. N. Rotmistrov. 2018. Vozmozhnost' raboty s propushchennymi dannymi pri ispol'zovanii CHAID: Rezul'taty statisticheskogo eksperimenta [Handling missing data with CHAID: results of a statistical experiment]. *Sotsiologiya: metodologiya, metody, matematicheskoe modelirovanie* [Sociology: Methodology, Methods, Mathematical Modeling] 46:85–122.
 11. 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.
 12. Pashinin, A. V. 2012. Metricheskie knigi kak istochnik sostavlenniya rodoslovykh [Metric books as a source of pedigree compilation]. *Vlast'* [J. Power] 11:198–201.
 13. Vinnik, M. V. 2012. Metricheskie knigi kak istochnik po istorii naseleniya Rossii [Registers of births as a source for the history of the Russian population]. *Demoskop*

Weekly [Demoscope Weekly] 535–536. Available at: <http://www.demoscope.ru/weekly/2012/0535/analit012.php> (accessed March 27, 2023).

14. Antonov, D. N., and I. A. Antonova. 2006. *Metricheskie knigi Rossii XVIII – nachala XX v.* [Registers of births in Russia in the 18th – early 20th century]. Moscow: RGGU. 384 p.
15. 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.
16. Adamovich, I. M., and O. I. Volkov. 2022. Algoritmy klasterizatsii dlya tekhnologii podderzhki konkretno-istoricheskikh issledovaniy [Clustering algorithms for technology of concrete historical investigation support]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 32(4):112–123. doi: 10.14357/08696527220411.
17. Gruzdev, A. V. 2018. *Prognoznoe modelirovanie v IBM SPSS Statistics, R i Python. Metod derev'ev resheniy i sluchaynyy les* [Predictive modeling in IBM SPSS Statistics, R, and Python. Decision tree method and random forest]. Moscow: DMK Press. 642 p.

Received January 17, 2023

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

ОБ АВТОРАХ

Адамович Игорь Михайлович (р. 1934) — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Архипов Павел Олегович (р. 1979) — кандидат технических наук, директор Орловского филиала 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

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

Дулин Сергей Константинович (р. 1950) — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук; главный научный сотрудник Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте

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

Егоров Владимир Борисович (р. 1948) — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Забжайло 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

Зацаринный Александр Алексеевич (р. 1951) — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

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

Ионенков Юрий Сергеевич (р. 1956) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Кириков Игорь Александрович (р. 1955) — кандидат технических наук, директор Калининградского филиала Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Кульченков Владислав Владимирович (р. 1989) — руководитель службы мониторинга рисков Банка ВТБ (ПАО)

Никитенкова Светлана Павловна (р. 1968) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасность информационных систем» Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского

Никишин Дмитрий Александрович (р. 1976) — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Орлов Георгий Александрович (р. 1994) — старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Розенберг Игорь Наумович (р. 1965) — доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, научный руководитель Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте

Румовская София Борисовна (р. 1985) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Калининградского филиала Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Смирнов Дмитрий Владимирович (р. 1984) — бизнес-партнер по ИТ департамента безопасности ПАО «Сбербанк России»

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

Сучков Александр Павлович (р. 1954) — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики 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

Филиппских Сергей Леонидович (р. 1987) — младший научный сотрудник Орловского филиала Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Читалов Дмитрий Иванович (р. 1989) — младший научный сотрудник Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии Уральского отделения 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

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 положения 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 — А4; 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 Publ. 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 kompaktny 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 Pubs. 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. Mamikonians, 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 slovaryia informat-ionnogo 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 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]. 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 33 No.2 Year 2023

Editor-in-Chief and Chair of Editorial Council
Academician I. A. Sokolov

IN THIS ISSUE:

MULTIPLEXED SELF-TIMED PIPELINE <i>Yu. A. Stepchenkov, Yu. G. Diachenko, D. Yu. Stepchenkov, D. Yu. Diachenko, and G. A. Orlov</i>	4
RECOGNITION OF ANOMALIES ON MULTITIME PANORAMAS USING THE NEURAL NETWORK METHOD OF MODEL AMALGAMATION <i>P. O. Arkhipov and S. L. Philippskih</i>	13
DEEFAKE IMAGE DETECTION USING BISPECTRAL ANALYSIS <i>S. P. Nikitenkova</i>	25
DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF THE METHODOLOGICAL BASE FOR WORKING WITH GEODATA IN PROMISING GEOINFORMATION SYSTEMS <i>D. A. Nikishin</i>	34
SELECTION OF TECHNOLOGICAL SOLUTIONS TO SUPPORT THE PROCESS OF SYNTHESIS OF GEODATA OF RAILWAY TRANSPORT INFRASTRUCTURE <i>I. N. Rozenberg and S. K. Dulin</i>	46
A VISUAL LANGUAGE OF THE REPRESENTATION OF THE CONFLICT MANAGEMENT PROCESS IN HYBRID INTELLIGENT MULTIAGENT SYSTEMS <i>S. B. Rumovskaya and I. A. Kirikov</i>	60
CAUSE-AND-EFFECT RELATIONSHIPS IN ANALYSIS OF UNOBSERVABLE PROCESS PROPERTIES <i>A. A. Grusho, M. I. Zabezhalo, V. V. Kulchenkov, D. V. Smirnov, E. E. Timonina, and S. Ya. Shorgin</i>	71
METHODOLOGICAL APPROACH TO THE SELECTION OF KEY PERFORMANCE INDICATORS FOR EVALUATING THE INFORMATION AND TECHNOLOGY ORGANIZATIONS <i>A. A. Zatsarinny and Yu. S. Ionenkov</i>	79