

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)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

академик РАН И. А. Соколов — главный редактор
профессор, д.ф.-м.н. С. Я. Шоргин — заместитель главного редактора
д.т.н. В. Н. Захаров
проф., д.ф.-м.н. А. И. Зейфман
проф., д.т.н. В. Д. Ильин
проф., д.т.н. К. К. Колин
проф., д.ф.-м.н. В. Ю. Королев
к.ф.-м.н. Р. В. Разумчик
д.ф.-м.н. В. И. Сеницын
проф., д.т.н. И. Н. Сеницын
проф., д.ф.-м.н. В. Г. Ушаков
д.ф.-м.н. А. К. Горшенин — отв. секретарь
к.ф.-м.н. С. А. Христочевский

Редакция

к.ф.-м.н. Е. Н. Арутюнов
к.ф.-м.н. Р. В. Разумчик
С. Н. Стригина

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

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

Журнал входит в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)
Журнал включен в базу данных CrossRef (систему DOI — Digital Object Identifier),
в базу данных Ulrich's periodicals directory
и в информационную систему «Общероссийский математический портал Math-Net.Ru»

Журнал реферируется в «Реферативном журнале» 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 32 № 1 Год 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Информационные аспекты обеспечения безопасности на транспорте: аналитические задачи А. В. Борисов, А. В. Босов, Д. В. Жуков, А. В. Иванов	4
Стратегия исследований и разработок в области искусственного интеллекта IV: государственная политика КНР А. В. Борисов, А. В. Босов, Д. В. Жуков	18
Оценка погрешности аппроксимации неоднородных марковских цепей с непрерывным временем и катастрофами И. А. Усов, И. А. Ковалёв, А. И. Зейфман	34
Геоинформационная система — инструмент цифровой трансформации геоданных И. Н. Розенберг, С. К. Дулин, Н. Г. Дулина	46
Создание фонетико-акустической базы русских триграмм Ю. И. Бутенко, Ю. В. Строганов, А. В. Квасников, Н. В. Славнов	55
Некоторые вопросы оценки внутреннего качества информационных систем А. А. Зацаринный, Ю. С. Ионенков	63
К вопросу о соотношении программно определяемых и традиционных IP-сетей В. Б. Егоров	73
Анализ монотонного тренда в многопараметрическом случае М. П. Кривенко	83
Структурный подход к связыванию записей в технологии поддержки конкретно-исторических исследований И. М. Адамович, О. И. Волков	94

СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА ИНФОРМАТИКИ

Том 32 № 1 Год 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Методология s-моделирования: развитие и применение В. Д. Ильин	104
Архитектура базы данных иерархии логико-семантических отношений А. А. Дурново, О. Ю. Инькова, Н. А. Попкова	114
Оценка эффективности капитальных и операционных затрат при планировании жизненного цикла информационных систем специального назначения А. П. Сучков	126
Доработка графического интерфейса платформы OpenFOAM в части расширения перечня утилит для работы с расчетными сетками Д. И. Читалов	138
Функции экспорта в лексикографических базах данных В. В. Вакуленко, А. А. Дурново, И. М. Зацман	149
Поиск аномалий в больших данных А. А. Грушо, Н. А. Грушо, М. И. Забежайло, Д. В. Смирнов, Е. Е. Тимонина, С. Я. Шоргин	160
Об авторах	168
Правила подготовки рукописей статей	171
Requirements for manuscripts	175

ИНФОРМАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ: АНАЛИТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ

А. В. Борисов¹, А. В. Босов², Д. В. Жуков³, А. В. Иванов⁴

Аннотация: В четвертой, заключительной статье цикла, посвященного описанию системы поддержки принятия решений (СППР) в области обеспечения безопасности пассажирских перевозок и противодействия противоправной деятельности на транспорте, базовые концепты, функции поиска и отбора данных и предметно-специализированные аналитические расчеты дополнены постановками, требующими сложной предварительной обработки данных (data processing). Содержание таким постановкам дает изучение совместных перемещений групп пассажиров, а также типовые задачи анализа сводной статистики по пассажироперевозкам. Решения обеспечиваются традиционным инструментом бизнес-аналитики (business intelligence) — технологией OLAP (online analytical processing). Для ее применения сначала формулируются необходимые понятия, описывающие хранилище фактов (витрину данных). Формируются факты в результате дискретизации временной шкалы перемещений пассажиров. Детализация конкретных задач анализа перемещения групп пассажиров обеспечивает формирование решений в форме OLAP-кубов. В заключении статьи подведен итог выполненного исследования.

Ключевые слова: транспортная безопасность; система поддержки принятия решений; транспортная информация; аналитическая обработка больших массивов данных; гиперкуб

DOI: 10.14357/08696527220101

1 Введение

Статья завершает цикл исследований в области обеспечения безопасности пассажирских перевозок и противодействия противоправной деятельности на транспорте [1–3]. Используются имеющиеся концепты и функциональные возможности, представленные в рамках проекта СППР, создаваемой в интересах обеспечения безопасности транспортных перевозок. Концепты — это базовые

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

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

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

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

понятия предложенной концептуальной модели системы пассажирских перевозок, наполненные фактографией перевозок конкретных пассажиров, составляющей транспортную информацию. Функционал — это алгоритмы трех этапов аналитической обработки данных: типовой поиск и отбор информации, специализированные расчетные задачи с отобранными данными, задачи обработки больших массивов данных. Данная статья посвящена третьему этапу аналитики. Можно отметить, что формирование задач этого этапа во многом предопределено возможностями используемого инструментария — технологии оперативной аналитической обработки данных (OLAP [4]). Более конкретно, возможности OLAP по предварительной обработке больших объемов данных для получения агрегированных показателей и представления результатов анализа в форме многомерных структур стимулировали пополнение используемой модели дополнительными концептами и постановками задач, что представлены в статье.

Технология OLAP, являясь, видимо, самым известным инструментом бизнес-аналитики (business intelligence), традиционно широко применяется в таких сферах, как финансы и торговля [5], известно множество приложений в промышленности [6, 7], имеются другие любопытные примеры, в том числе в области транспорта [8]. Однако при всем богатстве прикладной тематики принципиальную общность задач обработки больших массивов данных составляют, во-первых, большой объем предварительных расчетов, направленных на агрегацию имеющихся показателей, во-вторых, представление результата решения не точечным выводом, а многомерной структурой, эффективно визуализируемым представлением, дающим аналитику не столько итоговый вывод, сколько средство для исследования и выявления скрытых тенденций или аномалий. Типичные примеры приложений технологии OLAP к прикладной области обеспечения безопасности пассажирских перевозок и противодействия противоправной деятельности на транспорте приведены во второй группе аналитических задач — статистическом анализе пассажиропотоков. Задачи первой группы носят более специфический транспортный характер и, конечно, имеют большую ценность с точки зрения оперативной деятельности в сфере транспортной безопасности. Это задачи выявления тенденций при перемещениях больших групп пассажиров. Источником для этой первой группы аналитических задач можно считать задачу о пересечениях двух пассажиров, представленную в [3].

Предваряет описание аналитических задач изложение дополнительных понятий к используемой концептуальной модели, которые вводятся с целью представления транспортной информации в форме набора фактов и формирования из нее витрины данных, к которой уже и будут применяться процедуры аналитической обработки больших массивов данных.

2 Определения и понятия витрины транспортной информации

Для постановки задач, приводящих к аналитическим расчетам, используемую концептуальную модель требуется расширить рядом понятий.

При проведении аналитических расчетов на предварительном этапе задается тот же набор транспортной информации $\text{TI}(x, T_1, T_2)$, который использовался в аналитических задачах, рассмотренных в [3]. Напомним, что этот набор содержит в себе все зарегистрированные перемещения пассажира x на интервале времени $[T_1, T_2]$, а также, возможно, сведения о перемещении, начавшемся ранее T_1 или закончившемся после T_2 . Также используется понятие интервала неподвижности $[t_{\text{arr}}^i, t_{\text{dep}}^j] \subset [T_1, T_2]$, где t_{arr}^i и t_{dep}^j — соответствующие моменты прибытия в транспортный пункт p_{arr}^i и отбытия из него в транспортный пункт p_{dep}^j (подробно определение этого понятия рассмотрено в [3]).

Имеющиеся концепты дополняем понятием квантования времени: заданный пользователем для решения задачи диапазон времени $[T_1, T_2]$ разбивается на фиксированные промежутки времени (*кванты*) Δ , равные, например, одним суткам. Квант связан с системой счисления времени (календарем), и шкала времени «градуируется» с помощью этого кванта времени с учетом календаря (сутки группируются в недели или месяцы и далее в годы). Таким образом определяется *дискретизованный интервал неподвижности* пассажира x , представляющий собой наименьшее объединение квантов времени (суток), содержащее $[t_{\text{arr}}^i, t_{\text{dep}}^j]$.

Положение пассажира на протяжении дискретизованного интервала неподвижности, соответствующего исходному интервалу времени $[t_{\text{arr}}^i, t_{\text{dep}}^j]$ определяется следующим образом:

- (1) в кванты времени, не совпадающие с квантами прибытия/отбытия, положение описывается множеством транспортных пунктов $\{p_{\text{arr}}^i, p_{\text{dep}}^j\}$;
- (2) в квант прибытия/отбытия (для определенности назовем этот квант $[q_k, q_{k+1}]$) положение описывается множеством всех пунктов (согласно проездным документам) $\{p_{\text{arr}}^m, p_{\text{dep}}^n\}$, для которых $p_{\text{arr}}^m \in [q_k, q_{k+1}]$ или $p_{\text{dep}}^n \in [q_k, q_{k+1}]$.

Таким образом, для дискретизованного определения положения пассажира во времени и пространстве выполняются последовательно следующие шаги:

- (1) интервал времени $[T_1, T_2]$ разбивается на временные интервалы неподвижности и интервалы движения;
- (2) для всех исходных интервалов неподвижности строятся соответствующие дискретизованные интервалы неподвижности;
- (3) для каждого кванта времени, соответствующего дискретизованному интервалу неподвижности, определяется положение пассажира;
- (4) для квантов времени, соответствующих интервалам движения, положение пассажира определяется множеством всех пунктов отправления/прибытия согласно проездным документам.

Заданное таким образом дискретизованное положение пассажира позволяет определить и сформировать для дальнейшего анализа витрину данных, объединив множество *фактов* пребывания пассажиров в транспортном пункте в каждый заданный квант времени. К такой *витрине транспортной информации* можно непосредственно применять технологии OLAP для решения описанных в следующем разделе специализированных задач. Результатом решения каждой из этих задач является многомерный OLAP-куб, позволяющий аналитику получать решение по любому из вариантов задачи. Пользователь обсуждаемой СППР получает, таким образом, возможность визуально анализировать различные варианты представлений таких кубов посредством соответствующего клиентского OLAP-интерфейса.

3 Аналитические задачи

Наиболее содержательные постановки для проведения аналитических расчетов обнаружили при обобщении задачи о пересечениях двух пассажиров [3] на случай большего числа пассажиров, т. е. при попытке выявить совпадения, тенденции совместного перемещения каких-то групп пассажиров, выявления скрытых транспортных связей. Понятно, что для такого обобщения приходится качественно пересмотреть представление о результате решения, поскольку битовый ответ «да» или «нет» невозможен в принципе и любое решение потребует качественной оценки эксперта. Именно под такого характера постановки сформирована витрина данных в предыдущем разделе и запланировано применение OLAP.

3.1 Пересечение группы пассажиров

Задачу пересечения группы пассажиров во времени и пространстве следует декомпозировать на задачу пересечения по рейсам (совместным поездкам) и задачу пересечения по транспортным пунктам. Поскольку множество совместных рейсов для пары пассажиров строится тривиально, решение аналогичной задачи для группы пассажиров может быть представлено в виде таблицы, где каждой паре пассажиров поставлена в соответствие информация о числе их совместных рейсов, а при необходимости и их детальное описание.

Для решения задачи пересечения группы пассажиров по транспортным пунктам предлагается использовать подход, основанный на агрегировании дискретизованной информации об интервалах неподвижности по территориальным, временным и групповым иерархическим классификаторам.

Иерархический классификатор должен быть заранее (до начала процесса обработки данных) определен над каждой из трех следующих шкал (измерений): *шкалой времени*, *шкалой пространства (транспортных пунктов)* и *шкалой пассажиров*.

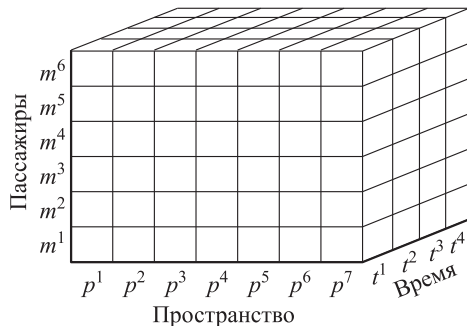


Рис. 1 Аналитический куб

Классификатор шкалы времени использует дискретизованную шкалу времени с квантом деления, равным одному дню, и естественную иерархию временных интервалов (день, неделя, месяц, год). В классификаторе шкалы пространства минимальным квантом деления служат транспортные пункты, объединенные в транспортные зоны. На шкале пассажиров классификаторы не обязательны, однако предпочтительны для облегчения представления аналитической информации. Квантом деления шкалы являются

пассажиры, объединяемые по подгруппам, группам и, возможно, другим (более общим) классам. Следует отметить, что для данной шкалы классификаторы могут пересекаться на одном уровне иерархии (пассажир может входить сразу в несколько групп).

Задача решается в автоматизированном режиме с использованием набора инструментов анализа, формирующего аналитический куб, представленный на рис. 1.

Ячейки аналитического куба K_{ijk} , соответствующие квантам деления шкал, могут принимать значения 0 или 1:

$$K_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{если пассажир } m^i \text{ в момент времени } t^k \text{ находился в транспортном} \\ & \text{пункте } p^j; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Таким образом, сумма по столбцу

$$N_{jk} = \sum_i K_{ijk}$$

определяет число пассажиров изучаемой группы, находившихся в населенном пункте p^j в фиксированный квант времени t^k .

Введем следующие правила агрегации данных в аналитическом кубе по каждому из иерархических классификаторов:

- $K_{Ijk} = \sum_{i \in I} K_{ijk}$ (суммирование по шкале пассажиров);
- $K_{iJk} = \sum_{j \in J} K_{ijk}$ (суммирование по шкале транспортных пунктов);
- $K_{ijk} = \min_{k \in K} K_{ijk}$ (минимальное значение по шкале времени).

Такие правила агрегации позволяют для любого зафиксированного набора классов по каждой из шкал (например, «группа, транспортная зона, неделя»)

получать численность пассажиров, участвовавших в самой массовой встрече. Здесь под встречей понимается пребывание набора пассажиров (числом, большим одного) в одном пространственном классе в течение одного кванта времени. Таким образом, последовательное раскрытие на аналитическом кубе иерархических классификаторов от более общих, агрегирующих информацию по большому числу квантов деления шкал, к частным, объединяющим лишь несколько пассажиров и транспортных пунктов на небольших интервалах времени, позволяет выявлять места и временные интервалы скопления пассажиров. Процесс проиллюстрирован на рис. 2.

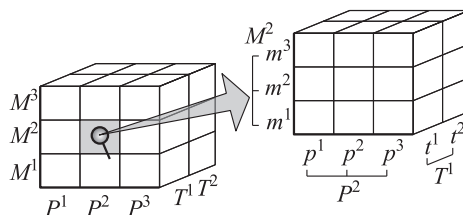


Рис. 2 Процесс поиска мест и временных интервалов скопления пассажиров с использованием иерархических классификаторов на аналитическом кубе

Отметим, что из факта встречи пассажиров в транспортном пункте следует факт их встречи в населенном пункте, а из факта встречи в населенном пункте — факт встречи в транспортной зоне. Обратное при этом неверно: при встрече пассажиров в населенном пункте может не произойти ни одной встречи в транспортных пунктах, и из факта встречи пассажиров в транспортной зоне в пределах некоторого интервала времени не следует, что за тот же интервал времени в пределах населенных пунктов данной транспортной зоны, произошла хотя бы одна встреча.

После того как зафиксированы некоторые классы по каждой из шкал, список пассажиров, участвовавших в самой массовой встрече, в пределах этих классов находится с помощью простого параметрического запроса. Подобные запросы позволяют сформировать средство построения отчетов. В них могут быть представлены:

- ранжированные данные по числу пересечений для классов по шкале пассажиров (определяющие в том числе «центрального пассажира группы» — пассажира с максимальным числом пересечений);
- ранжированные данные по числу пересечений для классов по шкале транспортных пунктов (определяющие в том числе «центральную зону» — класс транспортных пунктов, в пределах которого совершено максимальное число пересечений);
- ранжированные данные по массовости пересечений для классов по шкале транспортных пунктов (определяющие в том числе класс транспортных пунктов, в пределах которого произошла самая массовая встреча);
- сводные таблицы по пересечениям, содержащие информацию о времени, транспортных пунктах и участниках встречи, с возможностью сортировки по каждому из указанных видов информации;

- коэффициент разреженности группы по пространству: отношение числа транспортных пунктов (зон), в которых состоялось хотя бы одно пересечение, к общему числу транспортных пунктов (зон);
- коэффициент разреженности группы по времени: отношение числа временных интервалов, в которые зафиксировано совместное пребывание хотя бы пары пассажиров группы в пределах одной транспортной зоны, к общему числу временных интервалов в рассматриваемом промежутке времени;
- коэффициент разреженности по времени и пространству: отношение числа фактов пересечения (под фактом подразумевается нахождение хотя бы пары пассажиров в пределах одной транспортной зоны в один и тот же интервал времени) к общему числу возможностей пересечения (равному произведению числа рассматриваемых транспортных зон и числа временных интервалов в рассматриваемом промежутке времени).

Следует также отметить, что введение дополнительных правил фильтрации данных (например, ограничение на минимальное число участвующих во встрече пассажиров) позволит существенно сократить размеры куба, тем самым улучшив наглядность представляемой информации.

Анализ пересечения группы пассажиров — задача многоэтапная. Вначале пользователем формируется задание, включающее указание временных параметров и формирование групп (подгрупп) пассажиров, подлежащих анализу. На втором этапе выполняются вычислительные процедуры (серверный этап), необходимые для построения массивов аналитической информации (витрины и куба), необходимой для решения поставленной задачи. Наконец, пользователю предоставляется интерфейс для работы с полученным многомерным представлением.

3.2 Пересечение пассажира с группой пассажиров

Используя инструменты, описанные в предыдущем разделе, аналитик выделяет из всего массива информации представляющие интерес подмножества. Для фиксированного списка пассажиров (группы) аналитик может выбрать временной интервал, а также, возможно, набор транспортных пунктов, и тем самым определить аналитический подкуб, содержащий полную информацию о пребывании пассажиров из указанного списка за интересующий период времени. Агрегация полученного подкуба по шкале пассажиров позволяет получить матрицу пребывания для списка пассажиров (группы) S , представленную на рис. 3.

Элементы матрицы пребывания $S_{ij} = \min_{k \in K} K_{ijk}$ равны числу пассажиров, пребывавших в течение промежутка времени t_i в транспортном пункте p_j . Очевидно, что подобная матрица может быть построена и для одного пассажира. Тогда

$$S_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если пассажир в течение промежутка времени } t_i \text{ пребывал} \\ & \text{в пункте } p_j; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Пусть S_1 — матрица пребывания для списка пассажиров (группы), а S_2 — матрица пребывания для одного пассажира, построенные для одного и того же временного интервала. Следует отметить, что данные матрицы имеют одинаковое число столбцов, равное числу дней в интервале времени, однако в общем случае число их строк, соответствующих посещенным населенным пунктам, может быть разным. Определим новые матрицы S_1^* и S_2^* как результат удаления из матриц пребывания лишних строк, соответствующих транспортным пунктам, отсутствующим в шкалах хотя бы одной из матриц S_1 или S_2 . Полученные таким образом матрицы S_1^* и S_2^* имеют одинаковую размерность, и для них определена операция поэлементного перемножения $S^* = S_1^* * S_2^*$. Являющаяся результатом этой операции матрица S^* содержит ненулевые элементы S_{ij}^* , равные числу пассажиров из списка (группы), пересекавшихся с одним пассажиром в моменты времени t_i в пункте p_j . Список пассажиров, участвовавших в каждом из таких пересечений, может далее быть найден с помощью простого параметрического запроса, результат которого представлен в виде сводной таблицы по пересечению, содержащей информацию о времени, транспортных пунктах и участниках встречи, с возможностью сортировки по каждому из указанных видов информации. Кроме того, аналитик имеет возможность получить значения следующих коэффициентов разреженности:

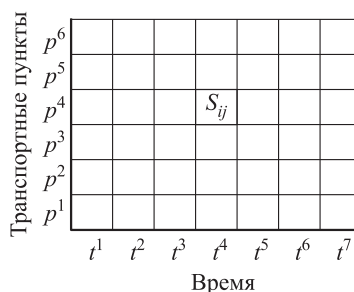


Рис. 3 Матрица пребывания для списка пассажиров (группы)

Пребывание				Год	Месяц	Дата					
				2021							
				Январь							
Пассажир	Транспортная зона	Населенный пункт	Транспортный пункт	04.01.2021	05.01.2021	06.01.2021	07.01.2021	08.01.2021	09.01.2021		
АНТИХОВ ИЛЬЯ ГЕО	Вне транспортных зон	Населенный пункт 1	Школа 6	п							
	Москва	Населенный пункт 1	Москва АВЦ	п	п	п	п	п	п		
ГОЛЬШТЕЙН СЕМЕН А	Вне транспортных зон	Населенный пункт 1	Топки	п							
		Населенный пункт 3	Школа 6	п							
			ДАНИЛОВ								
			ИЖЕВСК								
			ШАРЬЯ		п	п	п	п	п		
ГОРБУНКОВ СЕМЕН С	Вне транспортных зон	Населенный пункт 3	МОСКВА КАЗАНСКАЯ								
		Населенный пункт 1	Товарково	п	п	п	п	п	п		
			Школа 6	п							
		Населенный пункт 3	ВЛАДИКАВКАЗ								
			КУРСК		п	п	п	п	п		
			НОВОРОССИЙСК								
ИВАНОВА ИРИНА ОЛГ	Вне транспортных зон	Населенный пункт 3	МОСКВА КУРСКАЯ								
		Населенный пункт 3	БРЕСТ-ЦЕНТРАЛЬНЫЙ								
			МИНСК ПАССАЖИРСКИЙ	п	п	п	п	п	п		
КОРЕЙКО АЛЕКСАНД	Вне транспортных зон	Населенный пункт 1	Детчно пов.	п	п	п	п	п	п		
			Кремни								
			Школа 6								
		Населенный пункт 3	ДНЕПРОПЕТРОВСК ГЛАВНЫЙ								
			КЕРЧЬ								
	Москва	Населенный пункт 1	Москва ТС								
ОЛЬШАНСКАЯ МАРИЯ	Вне транспортных зон	Населенный пункт 1	Медьнь								
		Населенный пункт 3	Школа 6	п	п	п	п	п	п		
			БРЕСТ-ЦЕНТРАЛЬНЫЙ								
			СОМЕЛ ПАССАЖИРСКИЙ								

Рис. 4 Пример решения задачи пересечения пассажира и группы

- пересечений по пространству — отношение числа транспортных пунктов (зон), в которых состоялось хотя бы одно пересечение пассажира с группой, к общему числу транспортных пунктов (зон);
- пресечений по времени — отношение числа временных интервалов, в которые зафиксировано пересечение, к общему числу временных интервалов в рассматриваемом промежутке времени;
- по времени и пространству — отношение числа фактов пересечения к общему числу возможностей пересечения (равному произведению числа рассматриваемых транспортных зон и числа временных интервалов в рассматриваемом промежутке времени).

Представление типичного решения показано на рис. 4.

3.3 Пересечение двух групп пассажиров

Пусть теперь матрицы пребывания S_1^* и S_2^* построены для двух списков пассажиров (групп) и из них удалены лишние строки (оставлены только те транспортные пункты, в которых побывал хотя бы один пассажир из каждого списка). Определим матрицу совместного пребывания двух групп S^* как результат следующих поэлементных операций:

$$S_{ij}^* = \left(S_{1ij}^* + S_{2ij}^* \right) I \left(S_{1ij}^* \neq 0 \right) I \left(S_{2ij}^* \neq 0 \right),$$

где $I(\cdot)$ — индикаторная функция. Ненулевые элементы полученной матрицы S_{ij}^* равны числу пассажиров из двух групп, находившихся в пределах соответству-

Пребывание		Год	Месяц	Дата							
		2021									
		Январь									
Транспортный пункт	Населенный пункт	Транспортный пункт	Группа	Пассажир	04.01.2021	05.01.2021	06.01.2021	07.01.2021	08.01.2021	09.01.2021	10.01.2021
Вне транспорта	Населенный пункт 1	База	Группа 1.2	РОМАШКИН ГРИГОРИЙ	п						
		База	Итого								
		Белев	Группа 1.2	ТЫЧКИНА ЕКАТЕРИНА	п	п	п	п	п	п	п
		Белев	Итого		п	п	п	п	п	п	п
		Гомель	Группа 1.2	ШПАК АНТОН СЕМЬЮХ	п	п	п	п	п	п	п
		Гомель	Итого		п	п	п	п	п	п	п
		Детчино пов.	Группа 1.2	КОРЕЙКО АЛЕКСАНДР	п	п	п	п	п	п	п
		Детчино пов.	Итого		п	п	п	п	п	п	п
		Кремёнки	Группа 1.2	КОРЕЙКО АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ							
		Кремёнки	Итого								
		Куровской п.	Группа 1.2	ПОКРЫШКИН ПАВЕЛ ПАВЛОВИЧ							
		Куровской п.	Итого								
		Медвья	Группа 1.2	ОЛЬШАНСКАЯ МАРИЯ ВИКТОРОВНА							
		Медвья	Итого								
		Пединститут	Группа 1.2	ТЫЧКИНА ЕКАТЕРИНА	п						
		Пединститут	Итого		п						
		Скопин	Группа 1.2	ПОКРЫШКИН ПАВЕЛ	п	п	п	п	п	п	п
		Скопин	Итого		п	п	п	п	п	п	п
		Стенькино	Группа 1.1	ШПАК АНТОН СЕМЬЮХ	п						
		Стенькино	Итого		п						
		Сушиничи	Группа 1.2	ПОКРЫШКИН ПАВЕЛ ПАВЛОВИЧ							
		Сушиничи	Итого								
		Товарково	Группа 1.1	ГОРБУНКОВ СЕМЬЮХ	п	п	п	п	п	п	п
		Товарково	Итого		п	п	п	п	п	п	п
		Топки	Группа 1.1	ГОЛЬШТЕЙН СЕМЬЮХ	п	п	п	п	п	п	п
		Топки	Итого		п	п	п	п	п	п	п
		Ферзиково	Группа 1.2	РОМАШКИН ГРИГОРИЙ	п	п	п	п	п	п	п
		Ферзиково	Итого		п	п	п	п	п	п	п

Рис. 5 Пример решения задачи пересечения двух групп пассажиров

ющего интервала времени t_i в одном и том же транспортном пункте p_j . Как и в предыдущей задаче, список пассажиров, участвовавших в каждом из таких пересечений, может быть найден с помощью простого запроса с параметрами, результат которого может быть представлен в виде сводной таблицы по пересечениям, содержащей информацию о времени, транспортных пунктах и участниках встречи из обеих групп, с возможностью сортировки по каждому из указанных видов информации. Коэффициенты разреженности пересечений по времени и пространству, а также совместный коэффициент определяются тем же образом, что и в предыдущем случае.

Анализ пересечения двух групп пассажиров следует рассматривать как дополнительный (клиентский) этап решения задачи анализа пересечения группы пассажиров. На рис. 5 показан типичный вид решения такой задачи.

3.4 Статистический анализ пассажиропотоков

Методы решения данной группы задач обработки транспортной информации позволяют пользователю выполнять различные варианты анализа интегральных числовых характеристик пассажиропотоков по всей совокупности сведений, накопленных в базе транспортной информации. Результатом решения этих задач является построение многомерного представления (OLAP-куба), позволяющего аналитику получать решение по любому из вариантов задачи. Для этого предоставляется набор интегральных числовых характеристик перевозок пассажиров с группировкой по рейсам, перевозчикам, видам транспорта, а также по иерархии географических объектов.

3.4.1 Сводные данные о пассажиропотоке по видам транспорта, перевозчикам, рейсам

Для решения задачи дополнительно формируются вспомогательная шкала рейсов и иерархический классификатор, группирующий рейсы по перевозчикам (субъектам транспортной инфраструктуры) и перевозчиков по видам транспорта. Агрегация данных выполняется только для шкалы времени: для каждого вре-

		Год	Месяц	Дата				
		2021					2021 Итого	
		Январь					Январь Итого	
Вид транспорта	Данные	03.01.2021	04.01.2021	10.01.2021	14.01.2021			
Автомобильный транспорт	Количество перевозок		7961			1	7962	7962
	Среднее количество перевозок		7961			1	256,8387097	21,81369863
Железнодорожный транспорт	Количество перевозок			21891			21891	21891
	Среднее количество перевозок			21891			706,1612903	59,97534247
Водный транспорт	Количество перевозок	55137					55137	55137
	Среднее количество перевозок	55137					1778,612903	151,060274
Итого Количество перевозок		55137	7961	21891		1	84990	84990
Итого Среднее количество перевозок		55137	7961	21891		1	2741,612903	232,8493151

Рис. 6 Пример представления сводных данных пассажиропотока по видам транспорта, перевозчикам, рейсам

менного интервала вычисляется сумма и среднее значение по шкале пассажиров. Типичное представление такого рода решения приведено на рис. 6.

Таким образом, решение задачи представляется в форме статистического отчета, содержащего данные о среднем и общем числе пассажиров, перевезенных выбранным видом транспорта/перевозчиком (субъектом транспортной инфраструктуры) по конкретному рейсу за выбранный период с возможностью выбора уровня детализации по времени (год/квартал/месяц/неделя/день).

3.4.2 Сводные данные о пассажиропотоке по транспортным пунктам

Для решения задачи используется пространственная шкала с иерархическим классификатором, группирующим транспортные пункты по транспортным зонам. Агрегация данных выполняется только для пространственной шкалы, для каждого транспортного пункта/транспортной зоны вычисляется сумма и среднее значение по шкале пассажиров (возможно с фильтрацией пассажиров по факту прибытия и/или по факту убытия). На рис. 7 показан типичный вид такого решения.

Таким образом, в рамках данного статистического отчета формируются данные о среднем и общем числе пассажиров, перевезенных через/убывших из/прибывших в выбранный транспортный пункт/транспортную зону за выбранный период с возможностью выбора уровня детализации по времени (год/квартал/месяц/неделя/день).

		Год	Месяц	Дата	
		2021			
		Январь			
Транспортная зона	Населенный пункт	Данные	03.01.2021	04.01.2021	
			10.01.2021	14.01.2021	
Москва	Населенный пункт 1	Количество перевозок через ТП	7961		
		Среднее количество перевозок через ТП	7961		
		Количество перевозок в ТП	7961		
		Среднее количество перевозок в ТП	7961		
		Количество перевозок из ТП	0		
		Среднее количество перевозок из ТП			
	Населенный пункт 3	Количество перевозок через ТП			17682
		Среднее количество перевозок через ТП			17682
		Количество перевозок в ТП			8906
		Среднее количество перевозок в ТП			8906
		Количество перевозок из ТП			8776
		Среднее количество перевозок из ТП			8776
	Населенный пункт 4	Количество перевозок через ТП	33240		
		Среднее количество перевозок через ТП	33240		
		Количество перевозок в ТП	11144		
Среднее количество перевозок в ТП		11144			
Количество перевозок из ТП		22096			
Среднее количество перевозок из ТП		22096			
Москва	Количество перевозок через ТП	33240	7961	17682	
Москва	Среднее количество перевозок через ТП	33240	7961	17682	
Москва	Количество перевозок в ТП	11144	7961	8906	
Москва	Среднее количество перевозок в ТП	11144	7961	8906	
Москва	Количество перевозок из ТП	22096	0	8776	
Москва	Среднее количество перевозок из ТП	22096	0	8776	
Санкт-Петербург	Населенный пункт 3	Количество перевозок через ТП		5883	
		Среднее количество перевозок через ТП		5883	
		Количество перевозок в ТП		2838	
		Среднее количество перевозок в ТП		2838	

Рис. 7 Пример представления сводных данных пассажиропотока по транспортным пунктам

4 Заключение

Подводя итог представленному в четырех работах исследованию в области обеспечения безопасности пассажирских перевозок и противодействия противоправной деятельности на транспорте, отметим следующее. Общей целью всех работ было неформальное описание СППР, предназначенной для информационной поддержки оперативной работы или действий по расследованию инцидентов, которые могут быть отнесены к разновидности аналитической деятельности. Для формализации деятельности экспертов, использующих такую СППР, предложены концептуальная модель и три последовательно усложняющихся этапа информационного анализа. Модель [1], содержащая изначально в основном интуитивно понятные базовые понятия, такие как пассажир, поездка, транспортные пункты отправления и прибытия, в дальнейшем расширялась более специальными понятиями: активность, мобильность, непрерывный и разрывный (ветвящийся) маршруты, интервалы неподвижности (дискретизованные). Этапы анализа начинаются с самого простого — поиска и отбора данных. Этот этап представлен в [2] множеством специфических запросов, характерных именно для пассажирских перевозок, в связи с мероприятиями по обеспечению безопасности на транспорте или противодействию противоправной деятельности. Второй тип аналитики представлен в [3] расчетными аналитическими задачами, которые отвечают реальным потребностям предметной области, позволяя решать некоторые оперативные задачи, анализировать инциденты. Решения задач третьего типа требуют выполнения сложных вычислительных процедур, а в качестве средства реализации применена технология OLAP. Это самый сложный, но и самый интересный тип задач, характерный тем, что оставляет широкий простор для самостоятельных исследований пользователя-аналитика, предоставляя решение в форме средства визуального анализа. Интерпретация результатов такого решения — процесс творческий и потенциально способный привести к наиболее нетривиальным результатам аналитики.

Литература

1. *Борисов А. В., Босов А. В., Жуков Д. В., Иванов А. В., Сушко Д. В.* Информационные аспекты обеспечения безопасности на транспорте: онтология предметной области, модели и варианты использования // Системы и средства информатики, 2020. Т. 30. № 1. С. 126–134.
2. *Борисов А. В., Босов А. В., Жуков Д. В., Иванов А. В.* Информационные аспекты обеспечения безопасности на транспорте: поиск и отбор информации // Системы и средства информатики, 2021. Т. 31. № 2. С. 80–88.
3. *Борисов А. В., Босов А. В., Жуков Д. В., Иванов А. В.* Информационные аспекты обеспечения безопасности на транспорте: аналитические расчеты // Системы и средства информатики, 2021. Т. 31. № 4. С. 97–113.
4. *Thomsen E.* OLAP solutions: Building multidimensional information systems. — 2nd ed. — New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 2002. 688 p.

5. *Lauría E., Greco C.* OLAP for financial analysis and planning — a proof of concept // 5th Conference (International) on Software and Data Technologies Proceedings. — Athens, Greece: SciTePress, 2010. Vol. 1. P. 347–355.
6. *Ramesh G. V., Rao S. N., Shashi M.* Data-warehousing applications in manufacturing industry — applicable solutions and challenges faced // Advances in computing, communication and control / Eds. S. Unnikrishnan, S. Surve, D. Bhoir. — Communications in computer and information science ser. — Springer, 2011. Vol. 125. P. 70–78.
7. *Zhang J., Li N., Yang J., Lv N.* The application of OLAP in logistics system of steel-production // Appl. Mech. Mater., 2014. Vol. 577. P. 1296–1299.
8. *Duan L., Pang T., Nummenmaa J., Zuo J., Zhang P., Tang Ch.* Bus-OLAP: A data management model for non-on-time events query over bus journey data // Data Science Engineering, 2018. Vol. 3. Iss. 1. P. 52–67.

Поступила в редакцию 21.04.21

INFORMATION ASPECTS OF SECURITY IN TRANSPORT: ANALYTICAL DATA PROCESSING

A. V. Borisov, A. V. Bosov, D. V. Zhukov, and A. V. Ivanov

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

Abstract: In the fourth, final, article of the series devoted to the description of the decision support system in the field of ensuring the safety of passenger traffic and countering illegal activities in transport, basic concepts, search and selection data functions, and subject-specific analytical calculations are supplemented with statements requiring complex data processing. The content of such statements is provided by the study of joint movements of groups of passengers as well as typical tasks of analyzing summary statistics on passenger traffic. The solutions are provided by the traditional business intelligence tool, OLAP technology. To apply it, the necessary concepts are first formed that describe the fact store (data mart). Facts are formed as a result of discretizing of the timeline of passenger movements. Detailing the specific tasks of analyzing the movement of groups of passengers provides the formation of solutions in the form of OLAP-cubes. In the conclusion, the results of the research performed are summarized.

Keywords: transport safety; decision support system; transport information; analytical data processing; hypercube

DOI: 10.14357/08696527220101

References

1. Borisov, A. V., A. V. Bosov, D. V. Zhukov, A. V. Ivanov, and D. V. Sushko. 2020. Informatsionnye aspekty obespecheniya bezopasnosti na transporte: ontologiya predmetnoy

- oblasti, modeli i varianty ispol'zovaniya [Information aspects of security in transport: Ontology of the subject area, models and cases]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 30(1):126–134.
2. Borisov, A. V., A. V. Bosov, D. V. Zhukov, and A. V. Ivanov. 2021. Informatsionnye aspekty obespecheniya bezopasnosti na transporte: poisk i otdor informatsii [Information aspects of security in transport. Search and selection of information]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 31(2):80–88.
 3. Borisov, A. V., A. V. Bosov, D. V. Zhukov, and A. V. Ivanov. 2021. Informatsionnye aspekty obespecheniya bezopasnosti na transporte: analiticheskie raschety [Information aspects of security in transport: Analytical calculations]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 31(4):97–113.
 4. Thomsen, E. 2002. *OLAP solutions: Building multidimensional information systems*. 2nd ed. New York, NY: John Wiley & Sons. 688 p.
 5. Lauña, E., and C. Greco. 2010. OLAP for financial analysis and planning — a proof of concept. *5th Conference (International) on Software and Data Technologies Proceedings*. Athens, Greece: SciTePress. 1:347–355.
 6. Ramesh, G. V., S. N. Rao, and M. Shashi. 2011. Data-warehousing applications in manufacturing industry — applicable solutions and challenges faced. *Advances in computing, communication and control*. Eds. S. Unnikrishnan, S. Surve, and D. Bhoir. Communications in computer and information science ser. Springer. 125:70–78.
 7. Zhang, J., N. Li, J. Yang, and N. Lv. 2014. The application of OLAP in logistics system of steel-production. *Appl. Mech. Mater.* 577:1296–1299.
 8. Duan, L., T. Pang, J. Nummenmaa, J. Zuo, P. Zhang, and Ch. Tang. 2018. Bus-OLAP: A data management model for non-on-time events query over bus journey data. *Data Science Engineering* 3(1):52–67.

Received April 21, 2021

Contributors

Borisov Andrey V. (b. 1965) — Doctor of Science in physics and mathematics, 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; ABorosov@ipiran.ru

Bosov Alexey V. (b. 1969) — Doctor of Science in technology, 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; AVBosov@ipiran.ru

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

Ivanov Alexey V. (b. 1976) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; AIvanov@ipiran.ru

СТРАТЕГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА IV: ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТИКА КНР

А. В. Борисов¹, А. В. Босов², Д. В. Жуков⁴

Аннотация: Статья завершает цикл работ, посвященных анализу влияния государственного управления на эффективность проведения исследований и разработок в области искусственного интеллекта (AI R&D). Четвертая часть цикла представляет результат анализа влияния на область AI R&D государственной политики Китайской народной республики (КНР). Представлены краткие сведения о научно-техническом потенциале КНР и стратегических документах КНР в части развития AI R&D, принятых с 2017 г. Описана структура государственного и частного финансирования AI R&D в КНР. Дано краткое описание организации AI R&D в области обороны и безопасности. Представлены заключительные замечания, в том числе различия в подходах к стратегическому государственному планированию в области AI R&D, принятых в различных государствах.

Ключевые слова: искусственный интеллект; система распознавания лиц; система наблюдения/слежения; умный город/безопасный город

DOI: 10.14357/08696527220102

1 Введение

Цикл работ [1–3], который завершает статья, посвящен анализу государственного влияния на сферу исследований и разработок в области искусственного интеллекта. Предыдущие части были посвящены хронологии развития данной области в СССР и Российской Федерации и сравнительному анализу наукометрических показателей публикационной активности по AI R&D за последние 20 лет в России и мире [1, 2], а также исследованию стратегических документов AI R&D в США [3]. Эти сведения видятся «начальными условиями» реализации российской «Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 года» [4]. Окончательное дополнение их состоит в рассмотрении стратегических планов научных исследований, разработок и внедрения

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

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

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

технологий искусственного интеллекта (AI) в Китайской народной республике. Внимание к КНР в контексте представленного цикла работ объясняется следующими общеизвестными фактами:

- КНР делит лидирующие позиции с США в сфере высоких технологий и даже обгоняет их в некоторых областях;
- КНР, став региональным лидером, стремится к мировому экономическому, политическому и военному первенству;
- политическая и экономическая система КНР, выбравшей свой собственный «китайский путь развития», существенно отличается как от социалистической, так и от капиталистической системы и в некоторых областях демонстрирует преимущества;
- восточный менталитет накладывает свой отпечаток на стратегическое мышление, и соответствующие подходы должны изучаться.

Работа организована следующим образом. Раздел 2 содержит краткие сведения о научно-техническом потенциале КНР и стратегических государственных документах в части развития AI R&D, принятых с 2017 г. Раздел 3 посвящен структуре государственного и частного финансирования AI R&D в КНР. Организация AI R&D в области обороны и безопасности КНР изложена в разд. 4. Заключительные замечания ко всему представленному циклу работ приведены в разд. 5.

2 Государственный подход к AI R&D в КНР

Согласно американским материалам, КНР занимает первое место по публикациям в научных журналах [5] по тематике искусственного интеллекта. Летом 2017 г. Госсовет КНР принял документ «План разработки искусственного интеллекта нового поколения» [6, 7] (далее — План). Точные траты на AI в КНР не указаны, однако некоторые «реперные точки» Китая позволяют оценить финансовые и людские затраты в этой области. На 2017 г. в КНР было более 80 млн ученых, т. е. более 5,8% населения. Сто семьдесят миллионов человек, более 12% населения, имеют высшее образование. В 2016 г. объем продаж научно-технической продукции превысил 1 трлн юаней, это около 140 млрд долларов США. В этом же году на научно-исследовательские работы (НИР) и научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) в КНР было затрачено около 2,1% валового внутреннего продукта (ВВП) — 1,544 млрд юаней, это более 216 млн долларов, из которых 78% составили частные инвестиции.

В качестве основных принципов Плана указаны: достижение лидерства в технологиях; системный подход; ориентация на рынок; открытость. В документе определены стратегические цели и этапы их достижения.

Первый этап (до 2020 г.): обеспечение соответствия общего уровня технологий и применения AI в КНР передовому общемировому уровню:

- разработка теории и технологий обработки больших массивов разнородных данных, группового и гибридного интеллекта, автономных интеллектуальных систем;
- выведение индустрии AI КНР на первые общемировые позиции, создание ключевых предприятий по разработке AI, расширение финансовой базы индустрии AI с 150 млрд до 1 трлн юаней;
- оптимизация условий НИР/НИОКР в области AI, насыщение отрасли высокопрофессиональными кадрами, разработка комплекса законодательных и правоустанавливающих документов в области AI.

Второй этап (до 2025 г.): достижение прорыва в базовой теории AI и мирового лидерства в этой области. Выведение AI в качестве основной движущей силы индустриального и экономического обновления Китая:

- достижение прорыва в базовой теории и технологии AI (возможность независимого обучения);
- широкое применение AI в интеллектуальном производстве, интеллектуальных здравоохранении, градостроительстве, сельском хозяйстве, обороне и др.; расширение финансовой базы индустрии AI с 400 млрд до 5 трлн юаней;
- дальнейшее совершенствование законодательной базы в области AI.

Третий этап (до 2030 г.): выведение теории, технологии и применения AI в КНР на такой уровень, чтобы стать основным мировым центром в этой области, обеспечение на этой основе лидерства Китая:

- создание основы теории и технологий AI нового поколения, достижение прорыва в области человеческого интеллекта, независимого AI, смешанного и группового интеллекта;
- достижение лидерства в мировой конкурентной индустрии AI, широкое внедрение AI в производство и жизнь, социальную область, оборону; расширение финансовой базы индустрии AI с 1 трлн до 10 трлн юаней;
- создание лидирующей тренировочной базы обслуживающего персонала AI, разработка корпуса законов в области AI.

В Плате декларированы ключевые задачи, решение которых обеспечит его реализацию, показанные следующим классификатором.

1. Создание общей открытой технологической системы AI, предусматривающей кооперацию.

1.1 Разработка нового поколения базовой теории систем AI.

- 1.1.1 Интеллектуальная теория обработки больших данных.
- 1.1.2 Вычислительная теория восприятия разнородных данных.
- 1.1.3 Развитая теория гибридного интеллекта.

- 1.1.4 Теория группового интеллекта.
 - 1.1.5 Автономное совместное управление, оптимизация и принятие решений.
 - 1.1.6 Теория развитого машинного обучения.
 - 1.1.7 Теория интеллектуальных вычислений мозга.
 - 1.1.8 Теория квантовых интеллектуальных вычислений.
 - 1.2 *Создание нового поколения общих ключевых технологических систем AI.*
 - 1.2.1 Вычислительные «движки» (computing engines) знаний и сервисные технологии знаний.
 - 1.2.2 Технологии логических заключений на основе анализа разнородной информации.
 - 1.2.3 Ключевые технологии группового интеллекта.
 - 1.2.4 Улучшенные технологии и архитектура гибридного интеллекта.
 - 1.2.5 Человеконезависимые и соответствующие интеллектуальные технологии.
 - 1.2.6 Технологии виртуальной реальности и моделирования.
 - 1.2.7 Разработка элементной базы для AI.
 - 1.2.8 Обработка естественных языков.
 - 1.3 *Макет инновационной платформы AI.*
 - 1.3.1 Аппаратно-программная платформа.
 - 1.3.2 Платформа сервисов группового интеллекта.
 - 1.3.3 Платформа поддержки улучшенного гибридного интеллекта.
 - 1.3.4 Платформа поддержки человеконезависимых систем.
 - 1.3.5 Платформа обеспечения безопасности.
 - 1.4 *Ускорение подготовки кадров для разработки AI.*
 - 1.4.1 Создание высококвалифицированной команды (совокупность коллективов рассматривается как единое целое).
 - 1.4.2 Подготовка образованных и талантливых кадров.
 - 1.4.3 Модернизация системы образования.
- 2. Развитие эффективной интеллектуальной экономики.**
- 2.1 *Ускорение промышленного применения AI.*
 - 2.1.1 Внедрение интеллектуального аппаратного и программного обеспечения.
 - 2.1.2 Интеллектуальные роботы.
 - 2.1.3 Интеллектуальные средства передвижения.
 - 2.1.4 Средства виртуальной и дополненной реальности.

- 2.1.5 «Умные» терминалы.
- 2.1.6 Фундаментальные компоненты интернета вещей.
- 2.2 *Содействие интеллектуальной индустриальной модернизации.*
 - 2.2.1 Интеллектуальное производство.
 - 2.2.2 Интеллектуальное сельское хозяйство.
 - 2.2.3 Интеллектуальная логистика.
 - 2.2.4 Умные финансы.
 - 2.2.5 Использование AI в бизнес-аналитике.
 - 2.2.6 Умный дом.
- 2.3 *Развитие концепции интеллектуального предприятия.*
 - 2.3.1 Широкомасштабная реклама и содействие преобразованию в интеллектуальное предприятие.
 - 2.3.2 Содействие внедрению умных фабрик.
 - 2.3.3 Культивирование соревновательности за звание AI-лидеров в различных областях индустрии.
- 2.4 *Обеспечение режима благоприятствования при внедрении AI.*
 - 2.4.1 Использование региональных особенностей и преимуществ.
 - 2.4.2 Создание пилотных участков.
 - 2.4.3 Создание национального парка AI.
 - 2.4.4 Создание национальной базы AI.
- 3. Создание безопасного и комфортного интеллектуального общества.**
 - 3.1 *Разработка комфортных и эффективных интеллектуальных сервисов.*
 - 3.1.1 Образование.
 - 3.1.2 Здоровоохранение.
 - 3.1.3 Забота о престарелых.
 - 3.2 *Продвижение AI в социальном управлении.*
 - 3.2.1 Интеллектуальное правительство.
 - 3.2.2 Справедливое и мудрое судопроизводство.
 - 3.2.3 Умные города.
 - 3.2.4 Интеллектуальная транспортная система.
 - 3.3 *Внедрение AI для укрепления общественной безопасности.*
 - 3.4 *Содействие социальному общению и доверию.*
- 4. Укрепление оборонной мощи.**
- 5. Построение безопасной и эффективной интеллектуальной инфраструктуры.**

5.1 *Коммуникационная инфраструктура.*

5.2 *Big Data — инфраструктура.*

5.3 *Высокопроизводительная вычислительная инфраструктура.*

6. Совместная разработка проектов в других областях науки и AI.

В Плате декларированы принципы распределения ресурсов при его реализации:

- обеспечение финансовых приоритетов, использование рыночных механизмов;
- оптимизация финансовой структуры при разработках AI;
- координация международных и национальных инновационных ресурсов;
- обеспечение мер доверия.

Помимо официального Плана [6] интерес вызывают иностранные (прежде всего американские) статьи, посвященные китайскому стилю реализации государственной политики в области AI R&D, например работа [8]. В [8] выражается обеспокоенность по поводу неограниченного использования AI в китайских вооруженных силах, что дает КНР серьезное преимущество. Тем не менее это не мешает частным американским компаниям сотрудничать с китайскими исследователями в разработке технологий на основе AI.

Одной из активно сотрудничающих с китайскими исследователями компаний является Microsoft, которая работает с финансируемым вооруженными силами Национальным университетом оборонных технологий (NUDT) над технологией наблюдения. Другой гигант, Google, открыл Исследовательский центр по искусственному интеллекту в Пекине в 2017 г. Лаборатория разрабатывает инструменты для AI и машинного обучения, включая платформу с открытым исходным кодом TensorFlow. Эти компании не несут ответственности за возможное использование их технологий в будущем.

Еще одним примером служит компания DJI (Шеньчжэнь, КНР), специализирующаяся на производстве дронов и мультикоптеров. Дело в том, что программное обеспечение для управления этими устройствами разрабатывается в дивизионе DJI, расположенном в Пало-Альто (Санта-Клара, Калифорния, США) американскими специалистами.

Еще одним примером технологического сотрудничества служат совместные работы фирмы Baidu (КНР) и Intel (Санта-Клара, Калифорния, США) по созданию высокопроизводительных специализированных AI-чипов.

Согласно исследованиям университета Синьхуа, примерно половина высокоцитируемых научных статей в области AI R&D написана китайскими исследователями совместно с учеными из других стран.

3 Структура финансирования AI R&D в КНР

Финансирование НИОКР в сфере AI R&D в КНР обеспечивается тремя источниками [9]: центральным правительством, территориальными органами государственной власти и фирмами/предприятиями.

Структура правительства КНР, Госсовета, во многом схожа со структурой правительств РФ и США. В состав Госсовета входят такие профильные подразделения, как Министерство науки и технологии и Министерство промышленности и информатизации. Распределение центрального государственного финансирования осуществляется через данные профильные министерства и подчиненные им подразделения и органы.

К территориальным органам власти КНР относятся правительства провинций, крупных городов, муниципальных образований и пр. Обычно их финансирование AI R&D не является значимым: какие-либо относительно специфические программы финансируются некоторыми территориальными органами власти.

Частные предприятия в Китае больше похожи на аналогичные экономические структуры в РФ, чем в США. Дело в том, что в КНР имеется значительная часть предприятий со смешанной частно-государственной формой собственности (ЧГС). Хотя предприятия ЧГС, как правило, стремятся к получению прибыли, участие государства создает стимулы для поддержки целей государственной политики, которые преобладают над целью получения прибыли. Кроме того, даже предприятия с полностью частной формой собственности подвержены значительному влиянию со стороны правительства Китая, и уровень такого влияния значительно выше, чем в западных странах. Тот факт, что государственные деньги и влияние тесно связаны с деятельностью многих китайских предприятий, позволяет понять, почему иногда расходы предприятий ЧГС могут в какой-то мере рассматриваться как государственные расходы.

В 2014 г. Госсовет КНР анонсировал реорганизацию инновационной системы КНР. Реформа предполагала к концу 2018 г. консолидацию сотен пересекающихся, избыточных и неэффективных научно-технических инновационных программ в 5 основных публично открытых источников финансирования:

- (1) Национальный естественно-научный фонд Китая (НЕНФК), специализирующийся на фундаментальных и прикладных исследованиях;
- (2) целевые национальные программы R&D, ориентированные на решение фундаментальных проблем улучшения социального и экономического благосостояния населения КНР;
- (3) национальные научно-технологические мегапроекты, направленные на достижение прорывов в ключевых технологиях;
- (4) управляющие фонды, предоставляющие средства стартапам и небольшим предприятиям для стимулирования инноваций и передачи технологий;
- (5) программа «Основа и таланты» для поощрения создания исследовательских центров и привлечения талантливых ученых для работы в КНР.

Следует отметить, что в этом перечне нет источников финансирования AI R&D в области обороны и безопасности. При этом анализ направлений исследований позволяет заключить, что соответствующие результаты AI R&D допускают двойное (гражданское и военное) применение.

НЕНФК финансирует исследования по следующим направлениям, связанным с AI:

- теоретические основания AI;
- машинное обучение;
- машинное восприятие и распознавание образов;
- обработка естественных языков;
- представление и обработка знаний;
- интеллектуальные системы и приложения;
- когнитивный и нейробиологический AI;
- информатика в образовании;
- математические и информационные междисциплинарные задачи.

Целевые национальные программы AI R&D КНР имеют несколько иную направленность:

- теоретические основания AI;
- обработка и анализ больших объемов данных;
- сетевые физические системы с поддержкой вычислений;
- разработка крупномасштабных сетей;
- интеллектуальные роботизированные и автономные системы;
- информационные системы в здравоохранении;
- продуктивность, устойчивость и качество программного обеспечения;
- обеспечение НИОКР высокопроизводительными вычислительными системами;
- создание человеко-машинных систем.

Национальные научно-технологические мегапроекты обычно имеют следующую направленность:

- теоретические основания AI;
- создание человеко-машинных систем;
- интеллектуальные роботизированные и автономные системы;
- обеспечение НИОКР высокопроизводительными вычислительными системами.

Для примера широты и детальности AI R&D, попавших в 2018 г. в мега-проект КНР «Искусственный интеллект нового поколения», можно привести сформулированные в его рамках задачи:

- новое поколение моделей нейронных сетей;
- адаптивное восприятие для открытых окружений;
- кросс-медийные причинно-следственные выводы;
- принятие решений в играх с неполной информацией;
- механизм возникновения и метод расчета группового интеллекта;
- повышение интеллектуальных возможностей человеко-машинных комплексов;
- коллективные методы управления и теории принятия решений в сложной производственной среде;
- обобщенный механизм обучения и расчета знаний предметной области;
- система кросс-медиа-анализа и рассуждений;
- технология активного восприятия сцены с когнитивными целями;
- исследование мотивации и конвергенции группового интеллекта, ориентированного на групповое поведение;
- исследования в области программного и аппаратного обеспечения для взаимодействия человека и машины;
- высокоточные интеллектуальные измерения и манипуляции в беспилотных системах;
- точное интеллектуальное обучение работе автономных агентов;
- новые датчики и чипы;
- ключевые стандарты проверки процессоров нейронных сетей.

4 Организация AI R&D в области обороны и безопасности КНР

Экономические успехи КНР имеют прямое отношение к национальной безопасности Китая [10]. Во-первых, это снижает возможности для других стран по дипломатическому и экономическому давлению. Во-вторых, это увеличивает технологический потенциал, доступный китайскому военному и разведывательному сообществу. Практически все крупные технологические компании в Китае активно сотрудничают с китайскими военными и государственными службами безопасности и обязаны это делать по закону. Статья 7 «Закона о национальной разведке КНР» дает правительству полномочия для принуждения к такой помощи, хотя у правительства также есть действенные ненасильственные инструменты стимулирования сотрудничества в этой области. Военно-гражданская интеграция является одним из краеугольных камней национальной стратегии

КНР в области AI R&D. При этом следует иметь в виду, что огромный объем исследований в области AI R&D с результатами двойного назначения проводится как китайскими государственными организациями, так и частными компаниями.

Под эгидой NUDT в начале 2018 г. были созданы две крупные исследовательские организации, целью которых ставится проведение AI R&D в области обороны. Это Исследовательский центр беспилотных систем (USRC) и Исследовательский центр искусственного интеллекта (AIRC). Данные организации не относятся к крупным по мировым масштабам [10]: их общий штат составляет около 200 человек по сравнению с 600 сотрудниками компании SenseTime (Гонконг, КНР) или 700 сотрудниками DeepMind (дивизион Google, США). Тем не менее следует подчеркнуть, что USRC и AIRC являются организациями, специализирующимися исключительно на оборонных разработках в области AI.

Среди направлений AI R&D в области обороны КНР наиболее важными представляются [11–17]:

создание автономных платформ. Китайские ученые предполагают применение AI в новых «автономных платформах военного назначения». Они включают в себя спутники, дроны, беспилотные автомобили, наземные роботы, надводные и подводные суда, интеллектуальные боеприпасы и др.;

создание вспомогательных систем. Применение AI в специальных аппаратно-программных системах, создаваемых в интересах разведки, рекогносцировки, слежения и глубокой обработки данных. Разработка программных систем, обеспечивающих кибератаки и защиту от них, аппаратно-программных средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Разработка комплексов автоматического принятия решений при пусках ракет;

разработка человеко-машинных комплексов военного назначения. Разработка обучающих комплексов/тренажеров военного персонала различного уровня, специализации и принадлежности к родам войск (ВС, ВВС, ВМФ, ПВО, РВСН, РЭБ и пр.), средств планирования военных операций, средств обучения автономных платформ и взаимодействия с ними.

В сфере обеспечения общественной безопасности КНР является самой передовой державой в области разработки/внедрения и интеграции различных систем наблюдения (AI surveillance systems). Приведем некоторые наиболее развитые направления [18]:

технологии/системы распознавания лиц (Facial Recognition Technologies/Systems). Это набор биометрических технологий, использующих фото- и видеокамеры для сопоставления неподвижных изображений людей или видеотреков с имеющимися в специальных базах данных. Не все системы распознавания лиц направлены на индивидуальную идентификацию, некоторые предназначены для мониторинга и оценки разнообразных демографических тенденций и проведения анализа эмоционального состояния толпы с помощью распознавания отдельных лиц;

умный город/безопасный город (Smart City/Safe City). Согласно [19], это набор технологий и приемов интеграции общества, экономики и окружающей среды, повышающий качество процессов во всех сферах человеческой жизнедеятельности, обеспечивающий устойчивое развитие, безопасность и здоровье жителей с целью повышения качества жизни граждан. С точки зрения безопасности эта концепция предполагает включение в себя следующих «умных» (т. е. использующих технологии AI) функциональных подсистем: транспортной подсистемы и оптимизации маршрутов; системы наблюдения, поиска, обнаружения и идентификации; системы управления в кризисных ситуациях, их предсказания, раннего обнаружения, предупреждения и мониторинга; централизованной системы обеспечения оперативной деятельности органов правопорядка и экстренного реагирования; внедрения технологий интернета вещей, обеспечения доступа к интернету, обеспечения защиты данных и пр.;

умное обеспечение правопорядка (Smart Policing, SP). Идея SP заключается в агрегировании и настраиваемой автоматической обработке большого объема разнородных данных: географических, исторических, криминальных, технических, биометрических и социальных — для предотвращения преступлений, оперативной реакции на них и их прогнозирования.

Все эти технологии обеспечения безопасности широко внедрены и продолжают тестироваться и развиваться по всей территории КНР. Помимо этого, различные составные части этих систем и системы в целом поставляются IT-лидерами КНР — фирмами Huawei, ZTE, Hikvision, SenseTime, Medvii, Yitu — более чем в 50 стран.

5 Заключение

Завершая в этой статье состоящее из четырех частей исследование влияния государственного управления на сферу AI R&D, отметим, во-первых, что относительно государственной политики в этой области существует весьма обширный аналитический материал: достаточно упомянуть работы [20–23]. И в итоге анализа этих и других работ по тематике цикла приведем следующие представляющиеся наиболее важными выводы.

1. Все государства, независимо от уровня их промышленного развития, характеризуют перспективы внедрения технологий AI как ключевой фактор, способный повлиять и на уровень жизни в различных странах, и на изменение межгосударственной таблицы о рангах, мирового промышленного, политического и военного лидерства.
2. Промышленно развитые страны, а также государства — региональные лидеры, обладающие политическими амбициями и достаточными научно-техническими и материальными ресурсами, разработали стратегические документы, регламентирующие пути развития AI R&D и внедрения соответствующих

технологий в своих странах, а также степень участия государственных органов в этих процессах.

3. Стратегии развития AI R&D в разных странах можно классифицировать по степени полноты охвата направлений и независимости проводимых исследований следующим образом.
 - 3.1 Стратегии, предполагающие полный спектр работ в области AI R&D и декларирующие в качестве одной из целей достижение лидерских позиций данного государства в этой области в мире. Примерами таких государств могут служить США, КНР, РФ.
 - 3.2 Стратегии, предполагающие получение новых научно-технических результатов в процессе тесного межгосударственного сотрудничества и научно-технической кооперации. Примерами подобных государств могут служить страны ЕС.
 - 3.3 Стратегии «ключевых» союзников. Они подразумевают сотрудничество с США в области AI R&D, а также признание их лидирующего положения. В то же время «ключевые» союзники обладают широкой самостоятельностью по выбору направлений и методов AI R&D, а также возможности привлечения к партнерству других государств. Примерами подобного «ключевого» союзника являются Израиль, а также Великобритания, тесно сотрудничающая с США и опирающаяся в AI R&D не только на свои научные ресурсы, но и на ресурсы всего Британского Содружества.
 - 3.4 Стратегии, более сфокусированные на внедрение уже существующих «чужих» AI технологий, с малым вниманием к собственным R&D.

Литература

1. Борисов А. В., Босов А. В., Жуков Д. В. Стратегия исследований и разработок в области искусственного интеллекта I: Основные понятия и краткая хронология // Системы и средства информатики, 2021. Т. 31. № 1. С. 57–68.
2. Борисов А. В., Босов А. В., Жуков Д. В. Стратегия исследований и разработок в области искусственного интеллекта II: Сравнительный анализ наукометрических показателей в мире и в Российской Федерации // Системы и средства информатики, 2021. Т. 31. № 2. С. 89–107.
3. Борисов А. В., Босов А. В., Жуков Д. В. Стратегия исследований и разработок в области искусственного интеллекта III: Доктрина государственной поддержки США // Системы и средства информатики, 2021. Т. 31. № 4. С. 114–134.
4. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года // Указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».
5. The National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan. — National Science and Technology Council, Networking and Information Research and Development Sub-committee, 2016. 48 p.

6. Notice of the State Council Issuing the New Generation of Artificial Intelligence Development Plan: State Council Document [2017] No. 35 // The Foundation for Law and International Affairs, 2017. 28 p. <https://flia.org/wp-content/uploads/2017/07/A-New-Generation-of-Artificial-Intelligence-Development-Plan-1.pdf>.
7. New Generation of Artificial Intelligence Development Plan // China Science Technology Newsletters, July 20, 2017. <https://www.mfa.gov.cn/ce/cefi/eng/kxjs/P020171025789108009001.pdf>.
8. *Abadicio M.* Artificial Intelligence in the Chinese military — current initiatives // Emerj Artificial Intelligence Research, 2019. <https://www.orfonline.org/research/a-i-in-the-chinese-military-current-initiatives-and-the-implications-for-india-61253/>.
9. *Colvin T. J., Liu I., Babou T. F., Wong G. J.* A brief examination of Chinese government expenditures on Artificial Intelligence R&D. — FFRDC: Science and Technology Policy Institute, 2020. IDA document D-12068. <https://www.jstor.org/stable/resrep22826>.
10. *Allen G. C.* Understanding China's AI strategy: Clues to Chinese strategic thinking on Artificial Intelligence and national security. — Center for a New American Security, 2019. <https://www.cnas.org/publications/reports/understanding-chinas-ai-strategy>.
11. *Kania E. B.* Chinese military innovation in Artificial Intelligence: Testimony before the U.S.–China economic and security review commission hearing on trade, technology, and military-civil fusion. — Center for a New American Security, 2019. 53 p. <https://www.cnas.org/publications/congressional-testimony/chinese-military-innovation-in-artificial-intelligence>.
12. *Dahm M.* Chinese debates on the military utility of Artificial Intelligence // War on the Rocks, 2020. <https://warontherocks.com/2020/06/chinese-debates-on-the-military-utility-of-artificial-intelligence/>.
13. *Fedasiuk R.* Chinese perspectives on AI and future military capabilities. — Center for Security and Emerging Technology, 2020. <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/CSET-Chinese-Perspectives.pdf>.
14. *Tadjdeh Y.* China threatens U.S. primacy in Artificial Intelligence (updated) // National Defence, 2020. <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2020/10/30/china-threatens-us-primacy-in-artificial-intelligence>.
15. *Zhang J.* China's military employment of Artificial Intelligence and its security implications // International Affairs Review, 2020. Vol. XXVIII. Iss. 2. P. 38–56.
16. *Kania E. B.* “AI weapons” in China's military innovation // Global China, 2020. 23 p. https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2020/04/FP_20200427_ai_weapons_kania_v2.pdf.
17. *Roberts H., Cows J., Morley J., Taddeo M., Wang V., Floridi L.* The Chinese approach to Artificial Intelligence: An analysis of policy, ethics, and regulation // AI & SOCIETY, 2021. Vol. 36. P. 59–77.
18. *Feldstein S.* The global expansion of AI surveillance. — Washington, DC, USA: Carnegie Endowment for International Peace, 2019. 42 p.
19. *Lacinák M., Ristvej J.* Smart city, safety and security // Procedia Engineer., 2017. Vol. 192. P. 522–527.
20. *Groth O. J., Nitzberg M., Zehr D.* Comparison of national strategies to promote Artificial Intelligence. Part 1. — Berlin: Konrad-Adenauer-Stiftung e.V., 2019. 70 p.
21. *Groth O. J., Nitzberg M., Zehr D.* Comparison of national strategies to promote Artificial Intelligence. Part 2. — Berlin: Konrad-Adenauer-Stiftung e.V., 2019. 84 p.

22. *Van Roy V.* AI watch — national strategies on Artificial Intelligence: A European perspective in 2019. — Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. EUR 30102 EN. 90 p. doi: 10.2760/602843. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC119974/national_strategies_on_artificial_intelligence_final_1.pdf.
23. Artificial Intelligence in the Asia-Pacific region: Examining policies and strategies to maximise AI readiness and adoption. — London: International Institute of Communications, 2020. 88 p. <https://www.iicom.org/wp-content/uploads/IIC-AI-Report-2020.pdf>.

Поступила в редакцию 21.04.21

RESEARCH AND DEVELOPMENT STRATEGY IN THE FIELD OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IV: CHINESE GOVERNMENT POLICY

A. V. Borisov, A. V. Bosov, and D. V. Zhukov

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

Abstract: The paper concludes a cycle of works devoted to the analysis of the impact of state-shock management on the effectiveness of research and development in the field of artificial intelligence (AI R&D). The fourth part of the cycle presents the result of the analysis of the impact of the state policy of the People’s Republic of China (PRC) on the AI R&D area. Brief information on the scientific and technical potential and strategic documents of the PRC in terms of the development of AI R&D, adopted since 2017, is presented. The structure of public and private financing of AI R&D in the PRC is described. A brief description of the organization of AI R&D in the field of defense and security is given. Concluding remarks are presented including differences in approaches to strategic state planning in the field of AI R&D adopted in different states.

Keywords: artificial intelligence; face recognition system; surveillance/tracking system; smart city/safe city

DOI: 10.14357/08696527220102

References

1. Borisov, A. V., A. V. Bosov, and D. V. Zhukov. 2021. Strategiya issledovaniy i razrabotok v oblasti iskusstvennogo intellekta I: Osnovnye ponyatiya i kratkaya khronologiya [Research and development strategy in the field of artificial intelligence I: Basic concepts and brief chronology]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 31(1):57–68.
2. Borisov, A. V., A. V. Bosov, and D. V. Zhukov. 2021. Strategiya issledovaniy i razrabotok v oblasti iskusstvennogo intellekta II: Sravnitel’nyy analiz naukometriceskikh pokazateley v mire i v Rossiyskoy Federatsii [Research and development strategy in the field of artificial intelligence II: Comparative analysis of scientometric

- indicators in the world and in the Russian Federation]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 31(2):89–107.
3. Borisov, A. V., A. V. Bosov, and D. V. Zhukov. 2021. Strategiya issledovaniy i razrabotok v oblasti iskusstvennogo intellekta III: Doktrina gosudarstvennoy podderzhki SShA [Research and development strategy in the field of artificial intelligence III: United States government support doctrine]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 31(4):114–134.
 4. O razvitiy iskusstvennogo intellekta v Rossiyskoy Federatsii: ukaz Prezidenta ot 10.10.2019 No. 490 [About strategy of scientific and technological development of the Russian Federation. Presidential Decree No. 490 dated 10.10.2019]. Available at: <http://static.kremlin.ru/media/events/|les/ru/AH4x6HgKWANwVtMOfPDhcbRpvd1HCCsv.pdf> (accessed February 2, 2022).
 5. National Science and Technology Council, Networking and Information Research and Development Sub-committee. 2016. The National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan. Available at: www.nitrd.gov/pubs/national_ai_rd_strategic_plan.pdf (accessed February 2, 2022).
 6. Notice of the State Council Issuing the New Generation of Artificial Intelligence Development Plan. 2017. The Foundation for Law and International Affairs. 28 p. Available at: <https://flia.org/wp-content/uploads/2017/07/A-New-Generation-of-Artificial-Intelligence-Development-Plan-1.pdf> (accessed February 2, 2022).
 7. New Generation of Artificial Intelligence Development Plan. July 20, 2017. *China Science Technology Newsletters*. Available at: <https://www.mfa.gov.cn/ce/cefi/eng/kxjs/P020171025789108009001.pdf> (accessed February 2, 2022).
 8. Abadicio, M. 2019. Artificial Intelligence in the Chinese military — current initiatives. *Emerj Artificial Intelligence Research*. Available at: <https://www.orfonline.org/research/a-i-in-the-chinese-military-current-initiatives-and-the-implications-for-india-61253/> (accessed February 2, 2022).
 9. Colvin, T. J., I. Liu, T. F. Babou, and G. J. Wong. 2020. A brief examination of Chinese government expenditures on Artificial Intelligence R&D. FFRDC: Science and Technology Policy Institute. IDA document D-12068. Available at: <https://www.jstor.org/stable/resrep22826> (accessed February 2, 2022).
 10. Allen, G. C. 2019. Understanding China’s AI strategy: Clues to Chinese strategic thinking on Artificial Intelligence and national security. Center for a New American Security. Available at: <https://www.cnas.org/publications/reports/understanding-chinas-ai-strategy> (accessed February 2, 2022).
 11. Kania, E. B. 2019. Chinese military innovation in Artificial Intelligence: Testimony before the U.S.–China economic and security review commission hearing on trade, technology, and military-civil fusion. Center for a New American Security. 53 p. Available at: <https://www.cnas.org/publications/congressional-testimony/chinese-military-innovation-in-artificial-intelligence> (accessed February 2, 2022).
 12. Dahm, M. 2020. Chinese debates on the military utility of Artificial Intelligence. *War on the Rocks*. Available at: <https://warontherocks.com/2020/06/chinese-debates-on-the-military-utility-of-artificial-intelligence/> (accessed February 2, 2022).
 13. Fedasiuk, R. 2020. Chinese perspectives on AI and future military capabilities. Center for Security and Emerging Technology. Available at: <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/CSET-Chinese-Perspectives.pdf> (accessed February 2, 2022).

14. Tadjdeh Y. 2020. China threatens U.S. primacy in Artificial Intelligence (updated). *National Defence*. Available at: <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2020/10/30/china-threatens-us-primacy-in-artificial-intelligence> (accessed February 2, 2022).
15. Zhang, J. 2020. China's military employment of artificial intelligence and its security implications. *International Affairs Review* XXVIII(2):38–56.
16. Kania, E. B. 2020. “AI weapons” in China's military innovation. *Global China*. 23 p. Available at: https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2020/04/FP_20200427_ai_weapons_kania_v2.pdf (accessed February 2, 2022).
17. Roberts, H., J. Cowls, J. Morley, M. Taddeo, V. Wang, and L. Floridi. 2021. The Chinese approach to Artificial Intelligence: An analysis of policy, ethics, and regulation. *AI & SOCIETY* 36:59–77.
18. Feldstein, S. 2019. *The global expansion of AI surveillance*. Washington, DC: Carnegie Endowment for International Peace. 42 p.
19. Lacinák, M., and J. Ristvej. 2017. Smart city, safety and security. *Procedia Engineer*. 192:522–527.
20. Groth, O. J., M. Nitzberg, and D. Zehr. 2019. *Comparison of national strategies to promote Artificial Intelligence. Part 1*. Berlin: Konrad-Adenauer-Stiftung e.V. 70 p.
21. Groth, O. J., M. Nitzberg, and D. Zehr. 2019. *Comparison of national strategies to promote Artificial Intelligence. Part 2*. Berlin: Konrad-Adenauer-Stiftung e.V. 84 p.
22. Van Roy, V. 2020. AI watch — national strategies on Artificial Intelligence: A European perspective in 2019. Luxembourg: Publications Office of the European Union. EUR 30102 EN. 90 p. doi: 10.2760/602843. Available at: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC119974/national_strategies_on_artificial_intelligence_final_1.pdf (accessed February 2, 2022).
23. Artificial intelligence in the Asia-Pacific region: Examining policies and strategies to maximise AI readiness and adoption. 2020. London: International Institute of Communications. 88 p. Available at: <https://www.iicom.org/wp-content/uploads/IIC-AI-Report-2020.pdf> (accessed February 2, 2022).

Received April 21, 2021

Contributors

Borisov Andrey V. (b. 1965) — Doctor of Science in physics and mathematics, 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; ABorosov@ipiran.ru

Bosov Alexey V. (b. 1969) — Doctor of Science in technology, 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; AVBosov@ipiran.ru

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

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ АППРОКСИМАЦИИ НЕОДНОРОДНЫХ МАРКОВСКИХ ЦЕПЕЙ С НЕПРЕРЫВНЫМ ВРЕМЕНЕМ И КАТАСТРОФАМИ

И. А. Усов¹, И. А. Ковалёв², А. И. Зейфман³

Аннотация: Рассмотрена аппроксимация с помощью усеченных цепями меньшей размерности общего класса слабо эргодичных марковских цепей с непрерывным временем в случае наличия катастроф. При этом существенно ослаблены ограничения на структуру инфинитезимальной матрицы. Предполагается, что процесс слабо эргодичен в l_1 -норме и во «взвешенной» норме l_{1D} . Для таких процессов получена новая равномерная по времени оценка погрешности усечения. Полученная оценка справедлива для неоднородных процессов рождения и гибели, а также для систем массового обслуживания (СМО) с групповым поступлением и обслуживанием требований и для нестационарных моделей обслуживания с катастрофами и «тяжелыми хвостами», т. е. когда интенсивности убывают со степенной скоростью. В качестве численного примера рассмотрена неоднородная система обслуживания $M_t|M_t|S$ с катастрофами.

Ключевые слова: аппроксимация; усечение; катастрофы; системы массового обслуживания; слабая эргодичность

DOI: 10.14357/08696527220103

Введение

Известно множество работ, посвященных исследованию неоднородных марковских цепей с непрерывным временем и катастрофами в теории массового обслуживания (см., например, [1–7]). Такие цепи, в частности, возникают и широко используются при исследовании моделей высокопроизводительных вычислений.

В [2] изучена система обслуживания, число требований в которой описывается марковской цепью с непрерывным временем и дискретным пространством состояний в той ситуации, когда интенсивности катастроф зависят от числа требований в системе, но являются существенными.

Ранее изучались модели массового обслуживания, число требований в которых описывается марковской цепью с матрицей интенсивностей Q такой, что $Q = \{q_{ij}, i, j \geq 0\}$, где $Q = Q^* + Q^{(0)}$ (подробнее см. в [1]).

¹Вологодский государственный университет, 293933rus@gmail.com

²Вологодский государственный университет, kovalev.iv96@yandex.ru

³Вологодский государственный университет; Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук; Вологодский научный центр Российской академии наук, a_zeifman@mail.ru

Статья [3] посвящена исследованию неоднородного процесса рождения и гибели с дополнительными переходами из/в нулевое состояние, были получены оценки эргодичности и возмущения, а также были рассмотрены усечения.

В [4] были получены оценки равномерной аппроксимации цепей без катастроф общего вида $X(t)$ при $r_i(t) = \beta_i(t) = 0$ в случае, когда интенсивности $r_i(t)$ убывают экспоненциально по i , т. е. существует такое $q > 1$, что $r_i(t) \leq q^{-i}$ для любого $i > 0$.

В [6] был рассмотрен неоднородный процесс рождения и гибели с дополнительными переходами из/в нулевое состояние и было показано, как получить равномерную оценку погрешности аппроксимации усечениями при менее жестких условиях на интенсивности $r_i(t)$, чем в перечисленных выше работах.

В работе [5] представлены результаты исследования специального класса марковских систем обслуживания, описываемых неоднородными процессами рождения и гибели с возможными дополнительными переходами из нулевого состояния в любое другое (что соответствует «внезапному» появлению некоторого числа заявок) и, наоборот, из любого состояния в нулевое (что соответствует «внезапной катастрофе», т. е. исчезновению всех заявок, имеющихся в системе), а также были получены оценки погрешности аппроксимации.

В настоящей работе рассмотрен более общий класс слабо эргодичных неоднородных марковских цепей с непрерывным временем и катастрофами. Оценки скорости сходимости для этого класса были получены в [7]. Здесь же получены новые равномерные оценки погрешности усечения и рассмотрена конкретная система обслуживания. Отметим, что полученная оценка справедлива для неоднородных процессов рождения и гибели, а также для СМО с групповым поступлением и обслуживанием требований, описанных в [8–10], и для нестационарных моделей обслуживания с катастрофами и «тяжелыми хвостами», т. е. когда интенсивности убывают со степенной скоростью (подробнее см. в [11]).

Основные понятия

Рассмотрим неоднородную марковскую цепь $X(t)$, $t \geq 0$, с непрерывным временем и счетным пространством состояний $\{0, 1, 2, \dots\}$. Обозначим переходные вероятности через $p_{ij}(s, t) = \mathbf{P}\{X(t) = j | X(s) = i\}$, где $i, j \geq 0$, $0 \leq s \leq t$, и вероятности состояний через $p_i(t) = \mathbf{P}\{X(t) = i\}$. Пусть $\mathbf{p}(t) = (p_0(t), p_1(t), \dots)^T$ — вектор распределения вероятностей состояний в момент времени t . Далее будем предполагать, что для любых i, j

$$\mathbf{P}(X(t+h) = j | X(t) = i) = \begin{cases} q_{ij}(t)h + \alpha_{ij}(t, h), & \text{если } i \neq j; \\ \gamma_i(t)h + \alpha_{i0}(t, h), & \text{если } j = 0, i > 1 \neq j; \\ 1 - \sum_{i \neq j} q_{ij} + \alpha_i(t, h), & \text{если } i = j, \end{cases}$$

где $\sup_i |\alpha_i(t, h)| = o(h)$.

Все интенсивности предполагаются локально интегрируемыми на промежутке $[0, \infty)$, а также

$$\begin{aligned} a_{ij}(t) &= q_{ji}(t), \quad i \neq j; \\ a_{ii}(t) &= - \sum_{i \neq j} a_{ji}(t) = - \sum_{i \neq j} q_{ij}(t). \end{aligned}$$

Тогда транспонированная матрица интенсивностей имеет вид:

$$A(t) = \begin{pmatrix} a_{00}(t) + \gamma_1(t) & a_{01}(t) + \gamma_2(t) & \cdots & a_{0n}(t) + \gamma_n(t) & \cdots \\ a_{10}(t) & a_{11}(t) & \cdots & a_{1n}(t) & \cdots \\ a_{20}(t) & a_{21}(t) & \cdots & a_{2n}(t) & \cdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \cdots \\ a_{n0}(t) & a_{n1}(t) & \cdots & a_{nn}(t) & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \cdots \end{pmatrix},$$

где $\gamma_1(t), \gamma_2(t), \dots$ — интенсивности катастроф.

Как и в [3, 8–10, 12–17], предполагаем выполненным условие $|a_{ii}| \leq L < \infty$ при всех i и почти всех $t \geq 0$. Тогда рассматриваемую модель можно свести к прямой системе Колмогорова

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

где $A(t) = Q^T(t)$. Далее через $\|\cdot\|$ обозначим l_1 -норму, а именно: $\|\mathbf{x}\| = \sum |x_i|$ и $\|B\| = \sup_j \sum_i |b_{ij}|$ для матрицы $B = (b_{ij})_{i,j=0}^\infty$. Рассмотрим Ω — множество всех стохастических векторов, т. е. l_1 -векторов с неотрицательными координатами и единичной нормой. Следовательно,

$$\|A(t)\| \leq 2 \sup_k |a_{kk}(t)| \leq 2L$$

при почти всех $t \geq 0$. Тогда оператор $A(t)$ из пространства l_1 в себя ограничен при почти всех $t \geq 0$ и локально интегрируем на $[0, \infty)$. Таким образом, можно рассматривать (1) как дифференциальное уравнение в пространстве последовательностей l_1 с ограниченным оператором.

Систему (1) в этой ситуации удобно преобразовать к виду:

$$\frac{d\mathbf{p}}{dt} = A^*(t)\mathbf{p} + g(t), \quad t \geq 0, \quad (2)$$

где $g(t) = (\gamma_*(t), 0, 0, \dots)^T$, $\gamma_*(t) = \inf_i \gamma_i(t)$; $A^*(t)$ — матрица с элементами

$$a_{ij}^*(t) = \begin{cases} a_{0j}(t) - \gamma_*(t) & \text{при } i = 0; \\ a_{ij}(t) & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

Рассмотрим неубывающую последовательность $1 = d_0 \leq d_1 \leq \dots$ и диагональную матрицу $D = \text{diag}(d_0, d_1, d_2, \dots)$. Обозначим через $l_{1D} = \{\mathbf{p} / \|\mathbf{p}\|_{1D} = \|D\mathbf{p}\|_1 < \infty\}$.

Дополнительно предположим, что процесс $X(t)$ экспоненциально эргодичен, т. е. при некоторых положительных M, M_1, a, a_1 и всех $s, t, 0 \leq s \leq t$ выполнены неравенства:

$$\|U(t, s)\| \leq M e^{-a(t-s)}; \quad (3)$$

$$\|U(t, s)\|_{1D} \leq M_1 e^{-a_1(t-s)}. \quad (4)$$

Аппроксимации

Рассмотрим «усеченный» процесс $X_N(t)$ с пространством состояний $E_N = \{0, 1, \dots, N\}$ и с редуцированной матрицей интенсивностей $A_N(t)$. Будем отождествлять конечный вектор $(a_0, a_1, \dots, a_N)^T$ и бесконечный вектор с теми же N координатами и остальными нулями. Запишем аналогичную (2) систему для усеченного процесса следующим образом:

$$\frac{d\mathbf{p}_N}{dt} = A^*(t)\mathbf{p}_N(t) + g(t) + (A_N^*(t) - A^*(t))\mathbf{p}_N. \quad (5)$$

Тогда

$$\begin{aligned} \mathbf{p}_N(t) &= U(t, 0)\mathbf{p}(0) + \int_0^t U(t, \tau)g(\tau) d\tau + \int_0^t U(t, \tau)(A_N^*(\tau) - A^*(\tau))\mathbf{p}_N d\tau = \\ &= \mathbf{p}(t) + \int_0^t U(t, \tau)(A_N^*(\tau) - A^*(\tau))\mathbf{p}_N d\tau, \end{aligned}$$

где $U(t, s)$ — оператор Коши уравнения (2).

Пусть $\mathbf{p}_N(0) = \mathbf{p}(0)$. Тогда в любой норме получаем

$$\|\mathbf{p}(t) - \mathbf{p}_N(t)\| \leq \int_0^t \|U(t, \tau)\| \|(A_N^*(\tau) - A^*(\tau))\mathbf{p}_N(\tau)\| d\tau.$$

Теорема 1. Пусть выполняются условия (3) и (4). Тогда для любых начальных условий $\mathbf{p}(0) = \mathbf{p}_N(0)$ и любого $t \geq 0$ справедлива следующая оценка погрешности аппроксимации:

$$\|\mathbf{p}(t) - \mathbf{p}_N(t)\| \leq \frac{2M}{a} \left(R_{K,N}^* + \frac{L}{d_{K+1}} \right) \left(\frac{M_1\theta}{a_1} + M_1 e^{-a_1 t} \|\mathbf{p}(0)\|_{1D} \right).$$

Доказательство.

Рассмотрим систему (2), описывающую «усеченный» процесс, и, используя условие (4), оценим $\|\mathbf{p}(t)\|_{1D}$:

$$\begin{aligned} \|\mathbf{p}(t)\|_{1D} &= \|U(t, 0)\mathbf{p}(0) + \int_0^t U(t, \tau)g(\tau) d\tau\|_{1D} \leq \\ &\leq \|U(t, 0)\|_{1D} \|\mathbf{p}(0)\|_{1D} + \int_0^t \|U(t, \tau)\|_{1D} \|g(\tau)\|_{1D} d\tau \leq M_1 e^{-a_1 t} \|\mathbf{p}(0)\|_{1D} + \frac{M_1\theta}{a_1}, \end{aligned}$$

где $\theta = \sup_t \gamma_*(t)$. Так как $\|U_N(t, s)\|_{1D} \leq \|U(t, s)\|_{1D}$ и $g_N(t) = g(t)$, получаем:

$$\begin{aligned} \|\mathbf{p}_N(t)\|_{1D} &= \|U_N(t, 0)\mathbf{p}_N(0) + \int_0^t U_N(t, \tau)g_N(\tau) d\tau\|_{1D} \leq \\ &\leq \|U(t, 0)\|_{1D} \|\mathbf{p}(0)\|_{1D} + \int_0^t \|U(t, \tau)\|_{1D} \|g(\tau)\|_{1D} d\tau \leq M_1 e^{-a_1 t} \|\mathbf{p}(0)\|_{1D} + \frac{M_1\theta}{a_1}. \end{aligned}$$

Рассмотрим $A^* - A_N^*$:

$$\begin{aligned} A^*(t) - A_N^*(t) &= \\ &= \begin{pmatrix} a_{00}(t) & a_{01}(t) & \cdots & a_{0n}(t) & \cdots \\ a_{10}(t) & a_{11}(t) & \cdots & a_{1n}(t) & \cdots \\ a_{20}(t) & a_{21}(t) & \cdots & a_{2n}(t) & \cdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \cdots \\ a_{n0}(t) & a_{n1}(t) & \cdots & a_{nn}(t) & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} a_{00}(t) & a_{01}(t) & \cdots & a_{0N}(t) & 0 & \cdots \\ a_{10}(t) & a_{11}(t) & \cdots & a_{1N}(t) & 0 & \cdots \\ a_{20}(t) & a_{21}(t) & \cdots & a_{2N}(t) & 0 & \cdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \cdots \\ a_{N0}(t) & a_{N1}(t) & \cdots & a_{NN}(t) & 0 & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (A^*(t) - A_N^*(t)) \mathbf{p}_N(t) = \\
 & = \begin{pmatrix} -\sum_{z=N+1} a_{z0}(t) \cdots & 0 & a_{0,N+1} \cdots \\ 0 & \cdots & 0 & a_{1,N+1} \cdots \\ \vdots & \cdots & \ddots & \cdots \cdots \\ 0 & \cdots - \sum_{z=N+1} a_{zN}(t) & \cdots & \cdots \\ a_{N+1,0} & \cdots & \vdots & \ddots \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_0(t) \\ p_1(t) \\ \vdots \\ p_N(t) \\ 0 \\ \vdots \end{pmatrix} = \\
 & = \begin{pmatrix} -\sum_{z=N+1} a_{z0}(t)p_0(t) \\ \vdots \\ -\sum_{z=N+1} a_{zN}(t)p_N(t) \\ \sum_{z=0}^N a_{N+1,z}(t)p_z(t) \\ \sum_{z=0}^N a_{N+2,z}(t)p_z(t) \\ \vdots \end{pmatrix}.
 \end{aligned}$$

Пусть K такое, что $0 \leq K \leq N$ и $R_{K,N}^* \leq \varepsilon$. Заметим, что

$$\left. \begin{aligned} & \sum_{z=K+1}^N p_z(t) \leq \frac{\|\mathbf{p}_N\|_{1D}}{d_{K+1}}; \\ & R_{0,N}p_0(t) + \cdots + R_{K,N}p_K(t) \leq R_{K,N}^*\|\mathbf{p}_N\|_{1D}, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где $R_{K,N}^* = \max(R_{0,N}, \dots, R_{K,N})$; $R_{0,N}, \dots, R_{K,N}$ — остатки соответствующих рядов $\sum_{z=N+1}^\infty a_{z0}(t), \dots, \sum_{z=N+1}^\infty a_{zK}(t)$.

Используя (6), оценим $\|(A_N^*(t) - A^*(t))\mathbf{p}_N(t)\|$:

$$\begin{aligned}
 & \|(A_N^*(t) - A^*(t)) \mathbf{p}_N(t)\| \leq \\
 & \leq \left(\sum_{z=N+1} a_{z0}(t)p_0(t) + \sum_{z=N+1} a_{z1}(t)p_1(t) + \cdots + \sum_{z=N+1} a_{zK}(t)p_K(t) \right) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \left(\sum_{z=N+1} a_{zK+1}(t)p_{K+1}(t) + \sum_{z=N+1} a_{zK+2}(t)p_{K+2}(t) + \dots \right. \\
 & \left. \dots + \sum_{z=N+1} a_{zN}(t)p_N(t) \right) + \left(\sum_{z=0}^N a_{N+1,z}(t)p_z(t) + \sum_{z=0}^N a_{N+2,z}(t)p_z(t) + \dots \right) \leq \\
 & \leq 2R_{K,N}^* \sum_{z=0}^K p_z(t) + 2L \sum_{z=K+1}^N p_z(t) \leq 2R_{K,N}^* \|\mathbf{p}_N(t)\|_{1D} + \frac{2L\|\mathbf{p}_N(t)\|_{1D}}{d_{K+1}} \leq \\
 & \leq 2 \left(\frac{M_1\theta}{a_1} + M_1 e^{-a_1 t} \|\mathbf{p}(0)\|_{1D} \right) \left(R_{K,N}^* + \frac{L}{d_{K+1}} \right); \\
 & \|(A_N^*(t) - A^*(t)) \mathbf{p}_N(t)\| \leq \\
 & \leq 2 \left(R_{K,N}^* + \frac{L}{d_{K+1}} \right) \left(\frac{M_1\theta}{a_1} + M_1 e^{-a_1 t} \|\mathbf{p}(0)\|_{1D} \right). \quad (7)
 \end{aligned}$$

Из (3), (5) и (7) окончательно получаем:

$$\|\mathbf{p}(t) - \mathbf{p}_N(t)\| \leq \frac{2M}{a} \left(R_{K,N}^* + \frac{L}{d_{K+1}} \right) \left(\frac{M_1\theta}{a_1} + M_1 e^{-a_1 t} \|\mathbf{p}(0)\|_{1D} \right). \quad (8)$$

Пример

Рассмотрим модель системы обслуживания типа $M_t|M_t|S$ с катастрофами, где S – число серверов (приборов). Предполагается, что если в системе имеется k требований, то возможно только поступление группы из $k+1$ требования с интенсивностями $a_{2k+1,k} = \lambda(t)$. Кроме того, возможно обслуживание сервером ровно одного требования из имеющихся k с интенсивностью $\mu_k(t) = \min(k, S)\mu(t)$ и, наконец, катастрофический сбой, т. е. потеря всех имеющихся в соответствующий момент k требований с интенсивностью $\gamma_k(t)$. Для упрощения расчетов будем считать, что все интенсивности — 1-периодические функции от времени.

Пусть число серверов в системе $S = 1$ и пусть интенсивности имеют вид:

$$\begin{aligned}
 \lambda_k(t) &= \lambda(t) = 1 + \sin 2\pi t; \\
 \mu_k(t) &= \min(k, 1)\mu(t) = (1 + \cos 2\pi t) \min(k, 1); \\
 \gamma_k(t) &= 2 + \sin 2\pi t.
 \end{aligned}$$

Получаем:

$$L = \sup_k |a_{kk}(t)| = \sup |1 + \sin 2\pi t + 1 + \cos 2\pi t + 2 + \sin 2\pi t| \leq 7;$$

$$\theta = \sup(2 + \sin 2\pi t) \leq 3.$$

Вычислим логарифмическую норму оператора $A(t)$ в пространстве l_1 :

$$\begin{aligned} \gamma(A(t))_{l_1} &= -(2 + \cos 2\pi t + \sin 2\pi t + 2 + \sin 2\pi t) + |2 + \cos 2\pi t + \sin 2\pi t| = \\ &= -2 - \sin 2\pi t. \end{aligned}$$

Следовательно, $M = 1$ и $a = 2$.

Выберем последовательность d_k такую, что $d_k = k + 1$.

Вычислим логарифмическую норму оператора $A(t)$ в пространстве 1D:

$$\gamma(A(t))_{1D} = -(4 + \cos 2\pi t + \sin 2\pi t + \sin 2\pi t) + |3 + \cos 2\pi t + 2 \sin 2\pi t| = -1.$$

Тогда получаем $M_1 = 1$ и $a_1 = 1$.

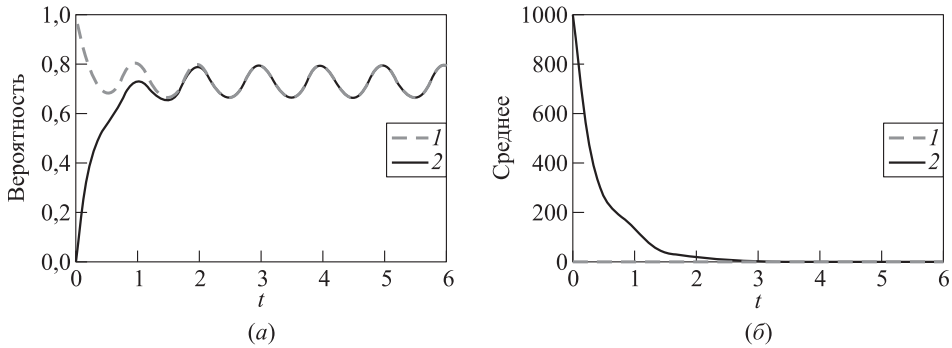


Рис. 1 Вероятность пустой СМО (а) и среднее число требований $E(t, k)$ (б) на отрезке $t \in [0, 6]$: 1 — $x(0) = 0$; 2 — $x(0) = 1000$

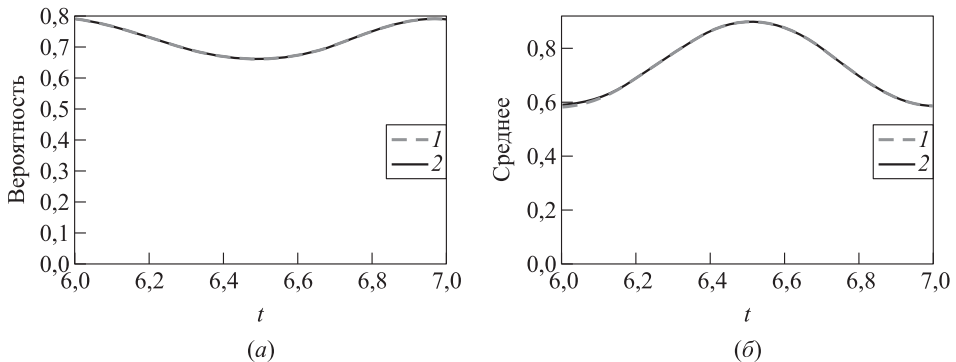


Рис. 2 Аппроксимация предельной вероятности пустой СМО (а) и предельного среднего числа требований $E(t, 0)$ (б) на отрезке $t \in [6, 7]$: 1 — $x(0) = 0$; 2 — $x(0) = 1000$

При $N = 1000$ выберем K такое, что $K = 499$ и $R_{K,N}^* \leq \varepsilon$. Тогда, используя оценку (8), получаем

$$\|\mathbf{p}(t) - \mathbf{p}_N(t)\| \leq \frac{2 \cdot 7 \cdot 3 \cdot 1}{2 \cdot 501 \cdot 1} = \frac{21}{501} \leq 42 \cdot 10^{-3}.$$

Далее выбираем размерность усеченного процесса, в данном случае 1000, интервал, на котором достигается желаемая точность $([0, 6])$, и сам предельный интервал $([6, 7])$. Строим графики ожидаемого числа требований в системе и некоторых наиболее вероятных состояний (рис. 1 и 2).

Литература

1. *Chen A. Y., Pollett P., Li J. P., Zhang H. J.* Markovian bulk-arrival and bulk-service queues with state-dependent control // *Queueing Syst.*, 2010. Vol. 64. P. 267–304.
2. *Зейфман А. И., Коротышева А. В., Панфилова Т. Л., Шоргин С. Я.* Оценки устойчивости для некоторых систем обслуживания с катастрофами // *Системы и средства информатики*, 2011. Т. 5. № 3. С. 27–33.
3. *Zeifman A., Korotysheva A., Satin Y., Korolev V., Shorgin S., Razumchik R.* Ergodicity and perturbation bounds for inhomogeneous birth and death processes with additional transitions from and to origin // *Int. J. Appl. Math. Comp.*, 2015. Vol. 25. P. 787–802.
4. *Зейфман А. И., Коротышева А. В., Королев В. Ю., Сатин Я. А.* Оценки погрешности аппроксимаций неоднородных марковских цепей с непрерывным временем // *Теория вероятностей и ее применения*, 2016. Т. 61. Вып. 3. С. 563–569.
5. *Зейфман А. И., Королев В. Ю., Коротышева А. В., Сатин Я. А.* Оценки для неоднородных марковских систем обслуживания с особенностями в нуле. — М.: ФИЦ ИУ РАН, 2016. 54 с.
6. *Зейфман А. И., Коротышева А. В., Сатин Я. А., Киселева К. М., Разумчик Р. В., Королев В. Ю., Шоргин С. Я.* Оценки погрешности аппроксимации для марковских систем обслуживания, описываемых процессами рождения и гибели с дополнительными переходами // *Системы и средства информатики*, 2017. Т. 27. № 3. С. 37–51.
7. *Zeifman A. I., Korotysheva A. V., Satin Y. A., Korolev V., Kiseleva K.* Bounds for Markovian queues with possible catastrophes // *31th European Conference on Modelling and Simulation Proceedings*. — Budapest, Hungary: ECMS, 2017. P. 628–634.
8. *Сатин Я. А., Зейфман А. И., Коротышева А. В.* О скорости сходимости и усечения для одного класса марковских систем обслуживания // *Теория вероятностей и ее применения*, 2012. Т. 57. С. 611–621.
9. *Zeifman A., Korolev V., Satin Y., Korotysheva A., Bening V.* Perturbation bounds and truncations for a class of Markovian queues // *Queueing Syst.*, 2014. Vol. 76. No. 2. P. 205–221.
10. *Zeifman A. I., Satin Ya. A., Shilova G. N., Korolev V. Yu., Bening V. E., Shorgin S. Ya.* On truncations for SZK model // *28th European Conference on Modelling and Simulation Proceedings*. — Brescia, Italy: ECMS, 2014. P. 577–582.

11. *Зейфман А. И., Сатин Я. А., Ковалев И. А.* Об одной нестационарной модели обслуживания с катастрофами и тяжелыми хвостами // Информатика и её применения, 2021. Т. 15. Вып. 2. С. 19–24.
12. *Zeifman A. I.* Upper and lower bounds on the rate of convergence for nonhomogeneous birth and death processes // Stoch. Proc. Appl., 1995. Vol. 59. P. 157–173.
13. *Granovsky B. L., Zeifman A. I.* Nonstationary queues: Estimation of the rate of convergence // Queueing Syst., 2004. Vol. 46. P. 363–388.
14. *Zeifman A., Leorato S., Orsingher E., Satin Ya., Shilova G.* Some universal limits for nonhomogeneous birth and death processes // Queueing Syst., 2006. Vol. 52. P. 139–151.
15. *Зейфман А. И., Бенинг В. Е., Соколов И. А.* Марковские цепи и модели с непрерывным временем. — М.: Элекс-КМ, 2008. 168 с.
16. *Zeifman A., Korotysheva A.* Perturbation bounds for $M_t|M_t|N$ queue with catastrophes // Stoch. Models, 2012. Vol. 28. No. 1. P. 49–62.
17. *Zeifman A., Korotysheva A., Satin Y., Razumchik R., Korolev V., Shorgin S.* Ergodicity and truncation bounds for inhomogeneous birth and death processes with additional transitions from and to origin // Stoch. Models, 2017. Vol. 33. P. 598–616.
Поступила в редакцию 24.01.22

TRUNCATION BOUNDS FOR INHOMOGENEOUS MARKOV CHAINS WITH CONTINUOUS TIME AND CATASTROPHES

I. A. Usov¹, I. A. Kovalev¹, and A. I. Zeifman^{1,2,3}

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

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

³Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, 56A Gorky Str., Vologda 160014, Russian Federation

Abstract: The authors have obtained a new uniform estimate for the truncation bounds for a more general class of weakly ergodic Markov chains with continuous time and catastrophes. In contrast to the previously studied cases, for the corresponding direct Kolmogorov system, the matrix A has a more general form and less stringent restrictions on the intensity. The authors assume that the process is weakly ergodic in the l_1 norm and in the “weighted” norm l_{1D} . The obtained estimate is valid for heterogeneous processes of birth and death as well as for queue with group admission and maintenance of requirements and for nonstationary service models with catastrophes and “heavy tails”, i. e., when the intensities decrease at a power rate. The paper also describes an inhomogeneous queuing system $M_t|M_t|S$ with catastrophes as a numerical example.

Keywords: approximations; truncations; catastrophes; queuing systems; weak ergodicity

DOI: 10.14357/08696527220103

References

1. Chen, A. Y., P. Pollett, J. P. Li, and H. J. Zhang. 2010. Markovian bulk-arrival and bulk-service queues with state-dependent control. *Queueing Syst.* 64:267–304.
2. Zeifman, A. I., A. V. Korotysheva, T. L. Panfilova, and S. Y. Shorgin. 2011. Otsenki ustoychivosti dlya nekotorykh sistem obsluzhivaniya s katastrofami [Stability bounds for some queueing systems with catastrophes]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 5(3):27–33.
3. Zeifman, A. I., A. V. Korotysheva, Ya. A. Satin, V. Yu. Korolev, S. Ya. Shorgin, and R. V. Razumchik. 2015. Ergodicity and perturbation bounds for inhomogeneous birth and death processes with additional transitions from and to origin. *Int. J. Appl. Math. Comp.* 25:787–802.
4. Zeifman, A. I., A. V. Korotysheva, V. Yu. Korolev, and Ya. A. Satin. 2016. Truncation bounds for approximations of inhomogeneous continuous-time Markov chains. *Theor. Probab. Appl.* 61(3):513–520.
5. Zeifman, A. I., V. Yu. Korolev, A. V. Korotysheva, and Ya. A. Satin. 2016. *Otsenki dlya neodnorodnykh markovskikh sistem obsluzhivaniya s osobennostyami v nule* [Bounds for inhomogeneous Markov service systems with singularities at zero]. Moscow: FRC CSC RAS. 54 p.
6. Zeifman, A. I., A. V. Korotysheva, Ya. A. Satin, K. M. Kiseleva, R. V. Razumchik, V. Yu. Korolev, and S. Ya. Shorgin. 2017. Otsenki pogreshnosti approksimatsii dlya markovskikh sistem obsluzhivaniya, opisyyvaemykh protsessami rozhdeniya i gibeli s dopolnitel'nymi perekhodami [Truncation bounds for a class of inhomogeneous birth and death queueing models with additional transitions]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(3):37–51.
7. Zeifman, A. I., A. V. Korotysheva, Y. A. Satin, V. Yu. Korolev, and K. M. Kiseleva. 2017. Bounds for Markovian queues with possible catastrophes. *31st European Conference on Modelling and Simulation Proceedings*. Budapest, Hungary: ECMS. 628–634.
8. Satin, Ya. A., A. I. Zeifman, and A. V. Korotysheva. 2012. Convergence rate and truncations for one class of Markov queueing systems. *Theor. Probab. Appl.* 57(3): 529–539.
9. Zeifman, A. I., V. Yu. Korolev, Y. A. Satin, A. V. Korotysheva, and V. E. Bening. 2014. Perturbation bounds and truncations for a class of Markovian queues. *Queueing Syst.* 76(2):205–221.
10. Zeifman, A. I., Ya. A. Satin, G. N. Shilova, V. Yu. Korolev, V. E. Bening, and S. Ya. Shorgin. 2014. On truncations for SZK model. *28th European Conference on Modelling and Simulation Proceedings*. Brescia, Italy: ECMS. 577–582.
11. Zeifman, A. I., Ya. A. Satin, and I. A. Kovalev. 2021. Ob odnoy nestatsionarnoy modeli obsluzhivaniya s katastrofami i tyazhelymi khvostami [On one nonstationary service model with catastrophes and heavy tails]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 15(2):19–24.
12. Zeifman, A. I. 1995. Upper and lower bounds on the rate of convergence for nonhomogeneous birth and death processes. *Stoch. Proc. Appl.* 59:157–173.
13. Granovsky, B. L., and A. I. Zeifman. 2004. Nonstationary queues: Estimation of the rate of convergence. *Queueing Syst.* 46:363–388.

14. Zeifman, A. I., S. Leorato, E. Orsingher, Ya. Satin, and G. Shilova. 2006. Some universal limits for nonhomogeneous birth and death processes. *Queueing Syst.* 52:139–151.
15. Zeifman, A. I., V. E. Bening, and I. A. Sokolov. 2008. *Markovskie tsepi i modeli s nepreryvnym vremenem* [Markov chains and models with continuous time]. Moscow: ELEKS-KM Pubs. 168 p.
16. Zeifman, A. I., and A. V. Korotysheva. 2012. Perturbation bounds for $M_t|M_t|N$ queue with catastrophes. *Stoch. Models* 28(1):49–62.
17. Zeifman, A. I., A. V. Korotysheva, Ya. A. Satin, R. V. Razumchik, V. Yu. Korolev, and S. Ya. Shorgin. 2017. Ergodicity and truncation bounds for inhomogeneous birth and death processes with additional transitions from and to origin. *Stoch. Models* 33:598–616.

Received January 24, 2022

Contributors

Usov Ilia A. (b. 1997) — master student, Department of Applied Mathematics, Vologda State University, 15 Lenin Str., Vologda 160000, Russian Federation; 293933rus@gmail.com

Kovalev Ivan A. (b. 1996) — PhD student, Department of Applied Mathematics, Vologda State University, 15 Lenin Str., Vologda 160000, Russian Federation; kovalev.iv96@yandex.ru

Zeifman Alexander I. (b. 1954) — Doctor of Science in physics and mathematics, professor, Head of Department, Vologda State University, 15 Lenin Str., Vologda 160000, Russian Federation; senior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Sciences and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119133, Russian Federation; principal scientist, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, 56A Gorky Str., Vologda 160014, Russian Federation; a_zeifman@mail.ru

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА — ИНСТРУМЕНТ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ГЕОДАННЫХ

И. Н. Розенберг¹, С. К. Дулин², Н. Г. Дулина³

Аннотация: Обсуждаются процессы, характерные для оцифровывания геоинформации в информационной среде географических информационных систем (ГИС). Рассмотрена эволюция обработки оцифрованной геоинформации средствами ГИС. Цифровые геоданные, как показывает опыт, обеспечивают совершенствование деятельности любой компании. Однако большинство современных геоданных не обладают интероперабельностью: они хранятся в изолированных базах геоданных (БГД), неинтероперабельных системах и используются в программах ограниченного доступа. В связи с этим геоданными трудно обмениваться, часто не удается их анализировать и интерпретировать. Показана необходимость существования геоинтероперабельности для проведения цифровой трансформации геоданных. Перечислены существующие модели интероперабельности, используемые для формирования ГИС. Отмечено, что самой неисследованной проблемой ГИС все еще остается ликвидация разрыва между различными моделями интероперабельности, используемыми для ее формирования. Решение этой проблемы обеспечило бы создание объединенного метода, учитывающего сильные стороны и слабости каждой отдельной модели при их интеграции.

Ключевые слова: ГИС; цифровая трансформация; геоинтероперабельность

DOI: 10.14357/08696527220104

1 Введение

Информационное взаимодействие с представлением данных и знаний о реальном пространственном местоположении тех или иных объектов обеспечивают ГИС. С 1970-х гг. создание ГИС знаменовало начало контролируемого оцифровывания геоданных. Первоначально для ГИС ставилась только задача оцифровывания карт и совместного хранения пространственно-временной и атрибутивной информации в БГД. Впоследствии задачи усложнились в направлении цифровизации, направленной на внедрение технологических процессов в области технологий обработки геоданных, что привело к разработке соответствующе-

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

² Федеральный 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

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

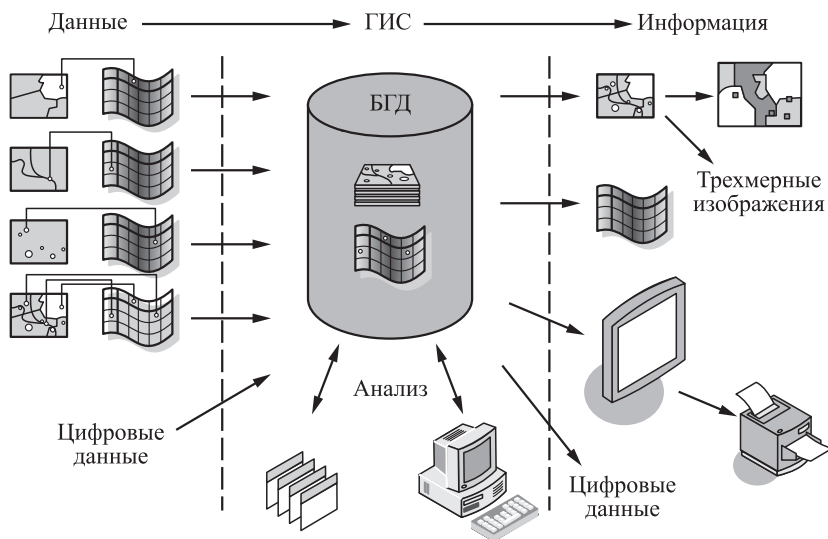


Рис. 1 Функциональная схема ГИС

го программного обеспечения. Начавшийся процесс цифровой трансформации привел к переосмыслению назначения ГИС как инструмента поддержки принятия решений, направленного на процесс интеграции цифровых технологий во все аспекты бизнес-деятельности компаний, оперирующих геоданными. Тем не менее стоит отметить, что и в настоящее время ГИС имеют наиболее широкое распространение в областях, напрямую связанных с географией, геодезией и картографией, хотя преимущества полноценной информационной модели с реальной привязкой к местоположению объектов уже стимулировали распространение ГИС в широком спектре областей применения (рис. 1). Поэтому ГИС можно рассматривать как необходимый инструмент при оценке, анализе и принятии решений в широком круге аспектов человеческой деятельности.

Основой современных ГИС служат пространственные базы данных или БГД, содержащие в себе векторную и растровую картографическую информацию и ассоциированные с ними атрибутивные (семантические) данные. Геоинформационные системы подразделяются на настольные и многопользовательские на основе клиент/серверной архитектуры, в которых собственно БГД хранится на сервере, а функциональные возможности, связанные с анализом и обработкой данных, реализуются, как правило, на клиентских местах. Технология построения картографических серверов, предоставляющих своим пользователям возможности динамического доступа и анализа геоинформационных данных, превратилась в отдельную отрасль симбиоза веб-индустрии и ГИС. Ведущие мировые производители ГИС (корпорация InterGraph, выпускающая серию продуктов Modular GIS Environment (MGE) и GeoMedia; фирма MapInfo — MapInfo Professional

и SpatialWare; фирма ESRI — ArcGis, ArcInfo; фирма Bentley — MicroStation Geographics и др.) предлагают качественные геоинформационные серверы для обработки поступающих запросов и выдачи адекватных результатов.

2 Определение и эволюция геоинформационных систем

Геоинформационные системы — это совокупность компьютерного программного обеспечения, аппаратного обеспечения и геоданных, управляемых персоналом, которая позволяет вводить, анализировать, представлять геоданные и манипулировать ими. Существуют различные определения ГИС, каждое из которых представляет некоторую точку зрения или ориентировано на решение определенного класса задач. Для картографов важна способность обрабатывать карты, для геоинформатиков в ГИС интересна БГД или набор программных инструментов, а для аналитиков, возможно, реализация поддержки принятия решений. Таким образом, определить ГИС можно, либо исходя из ее функциональных возможностей, либо на основе составляющих ее компонентов. Наиболее часто специалистами используется определение ГИС, данное сотрудниками Научно-исследовательского института экологических систем — ESRI: «ГИС является компьютерным инструментом для картирования и анализа существующих и происходящих на Земле событий. Технология ГИС интегрирует общие операции базы данных, такие как запрос и статистический анализ, с уникальными преимуществами визуализации и географического анализа, предлагаемыми картами» [1].

Достижения в области ГИС стали результатом нескольких этапов развития ГИС-технологий. Ключевую роль в развитии ГИС сыграли: эволюция баз данных, компьютерное картирование, дистанционное зондирование, программирование, география, математика, компьютерный дизайн и информатика.

Начальным этапом развития ГИС считаются 1960–1975 гг. Он знаменуется переходом от бумажного к компьютерному картированию. При этом ключевым моментом в истории ГИС считается создание Канадской географической системы (CGIS). Следует упомянуть здесь и новаторскую работу Бюро переписи населения США, которая привела к цифровому вводу переписи 1970 г. с использованием формата данных GBF-DIME, ставшим форматом файлов, который поддерживал ввод цифровых данных. Используя этот формат, Бюро переписи США приступило к оцифровке границ переписи, дорог и городских районов. Это был огромный шаг вперед в истории ГИС. В середине 1970-х гг. Гарвардская лаборатория компьютерной графики разработала ГИС под названием ODYSSEY GIS. ARC/INFO ESRI использовала техническую основу из ODYSSEY GIS, и эта работа привела к следующему этапу разработки ГИС — коммерциализации программного обеспечения. В конце 1980-х гг. был отмечен рост поставщиков программного обеспечения ГИС. Одним из таких поставщиков программного обеспечения ГИС был ESRI, который в настоящее время стал крупнейшей компанией по разработке программного обеспечения ГИС в мире и играет ключевую

роль в истории ГИС. В 1990–2010 гг. быстро расширяется круг пользователей, которые начинают применять технологию ГИС. С 2010 г. предлагается открытое картографирование. Данные ГИС стали более распространенными: данные TIGER, спутниковые снимки Landsat и даже данные LiDAR доступны для скачивания бесплатно. Онлайн-хранилища, такие как ArcGIS Online store, хранят огромные объемы пространственных данных. Пользователи ГИС создают свое собственное программное обеспечение ГИС открытым, совместным способом. Это программное обеспечение доступно для общих нужд и называется открытым исходным кодом.

3 Компоненты геоинформационной системы

Архитектура ГИС предполагает наличие следующих пяти компонентов: аппаратное обеспечение, программное обеспечение, геоданные, специалисты и методы.

1. Аппаратное обеспечение представляет собой достаточно мощный компьютер для хранения и обработки оцифрованной графической и атрибутивной информации. Однако в зависимости от версии ГИС ее программное обеспечение работает на широком спектре типов оборудования — от централизованного компьютерного сервера до настольных компьютеров в автономных или сетевых конфигурациях.
2. Программное обеспечение ГИС предоставляет функции и средства, необходимые для хранения, анализа и отображения географической информации. Ключевые компоненты программного обеспечения:
 - средства ввода географической информации и манипулирования ею;
 - система управления базой данных;
 - специальные утилиты, такие как географический запрос, анализ и визуализация результатов запросов;
 - географический пользовательский интерфейс (GUI).

В настоящее время существуют десятки пакетов программного обеспечения ГИС. Эти системы доступны на различных типах аппаратных платформ и имеют широкий спектр функциональных возможностей.

3. Возможно, наиболее важным компонентом ГИС являются геоданные. Геоинформационная система интегрирует пространственные данные с другими типами данных, используя систему управления базами данных. Независимо от источников геоданных (оцифровка карты, аэрофотосъемка или данные системы GPS) получающиеся географические наборы данных должны быть непротиворечивыми, чтобы использоваться в процессе пространственного анализа и гарантировать надежность решений, основанных на геоданных. Однако во многих существующих наборах геоданных ощущается нехватка



Рис. 2 Категории геоданных

метрического и топологического структурирования — двух основных категорий геоданных (рис. 2), что неизбежно приводит к ошибкам, не обеспечивая должным образом надежность результатов запросов, анализа или рассуждения.

4. Специалисты. ГИС-технологии имеют ограниченную ценность без персонала, который управляет системой и разрабатывает планы ее применения для решения реальных проблем. Персонал ГИС состоит из технических специалистов, которые проектируют и сопровождают систему, и тех, кто поддерживает ее в актуальном состоянии. Термин «пользователь ГИС» может относиться к любому лицу, которое будет использовать ГИС для выполнения проекта или программы. Сегодня ГИС используется во многих различных областях как инструмент, который позволяет выполнять работу с оцифрованными геоданными более эффективно.
5. Эффективная ГИС работает на основе специально разработанных методов и в соответствии с хорошо продуманным планом и бизнес-правилами, которые являются моделями и нормами работы, уникальными для каждой организации. Существует множество методов для создания карты и дальнейшего использования ее для любого проекта. Создание цифровой карты может быть либо автоматизировано для создателя векторного представления, либо векторизовано вручную на основе отсканированных изображений.

4 Геоинтероперабельность и цифровая трансформация

«Географическая интероперабельность — это способность информационных систем к (1) свободному обмену всех видов пространственной информации о Земле и об объектах и явлениях на, выше и ниже поверхности Земли; (2) совместному сетевому использованию программного обеспечения, предназначенному для управления такой информацией» [2]. Семантическая геоинтероперабельность заключается в обеспечении согласованного понимания смысла геоданных, например в процессе взаимодействия пользователей геопорталов при решении задач, требующих совместной обработки и использования ими геоданных, или при решении

задач концептуального поиска в БГД. Семантическая геоинтероперабельность принципиально отличается от синтаксической [3], так как в последнем случае речь идет только об обеспечении согласованной обработки и обмена геоданными на нескольких уровнях взаимодействия (сетевом, обменных форматов, вызовах удаленных процедур, запросов к БГД).

Существуют несколько подходов к формированию ГИС посредством моделей интероперабельности [4]. Каждый подход имеет преимущества и недостатки относительно достижения интероперабельности в контексте достаточности проведения цифровой трансформации. Основные преимущества моделей интероперабельности — возможность (а) определения общего словаря, который обеспечивает единообразие семантики и возможность анализа, (б) альтернативы предложений относительно структуры решений и, наконец, (в) оценки новых идей и добавления различных опций. Без сомнения, самой неисследованной проблемой ГИС, обладающей интероперабельностью, все еще остается ликвидация разрыва между различными моделями. Решение этой проблемы обеспечило бы создание объединенного метода, учитывающего сильные стороны и слабости каждой отдельной модели при их интеграции. В настоящее время каждая модель интероперабельности в ГИС определяет общую таксономию, которая поддерживает различные цели использования, достигая интероперабельности в разных контекстах. Слои, измерения, уровни или области — это понятия, которые обычно определяют такую таксономию. Они зависят от типа контекста и применяемой модели интероперабельности для формирования ГИС с интероперабельностью.

Примерами моделей интероперабельности, которые были успешно применены вне специфики ГИС-области, служат C4ISR Architectures Working Group's Levels of IT Systems Interoperability (LISI) model (LISI 1998), the Enterprise Interoperability Maturity Model (EIMM) (Athena 2005), the Organisational Interoperability Maturity Model (OIMM) (Clark and Jones, 1999) и the Organisational Interoperability Agility Model (OIAM) (Kingston *et al.*, 2005). Две модели — the Levels of Conceptual Interoperability Model (LCIM) и the Intermodel5 — разработаны для ГИС-области. Все эти модели в основном используются на самых высоких уровнях организационной интероперабельности из традиционных семи уровней: уровня нулевой интероперабельности, технического, синтаксического, семантического, прагматического, динамического и концептуального уровней.

Сложное программное обеспечение ГИС можно грубо охарактеризовать как слой электронных таблиц, содержащих данные, представляющие реальные географические и пространственные особенности, в сочетании со средствами визуализации этих данных, а также средствами для манипулирования данными и создания новых взаимосвязей и подмножеств данных. Система ГИС Esri, в частности, поддерживает три основных представления при работе с геоданными [5] (рис. 3).

Представление геоданных: ГИС включает в себя БГД с наборами геоданных, содержащих географическую информацию с точки зрения поддержки общей

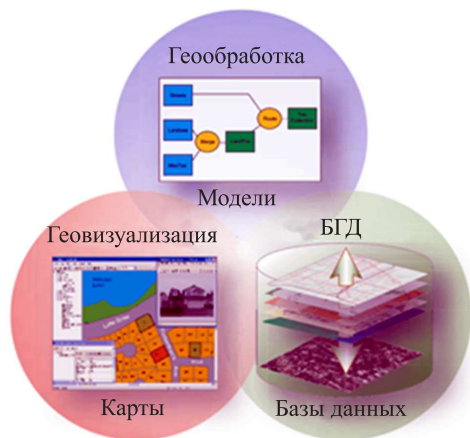


Рис. 3 Три основных представления геоданных

берут информацию из существующих наборов геоданных, применяют аналитические функции и помещают результаты в новые производные наборы геоданных.

Так как цифровая трансформация предполагает использование технологий для радикального повышения производительности, цифровизация всех трех представлений должна обеспечивать соответствующий уровень технологий программного обеспечения. Проведение цифровой трансформации означает, что удалось внедрить технологию, которая запускает совершенно новые процессы, а не просто новый способ обработки геоданных.

Цифровые преобразования оказывают существенное влияние на то, как специалисты, использующие георесурсы, взаимодействуют друг с другом в рамках существующей геоинтероперабельности, являющейся ключевым условием реализации цифровой трансформации.

Реализация цифровой трансформации геоданных дает как минимум четыре преимущества: снижает затраты на поддержку структуры и согласованности геоданных, повышает точность и адекватность формируемых запросов, увеличивает скорость выполняемых транзакций и делает работу с геоданными более осмысленной и эффективной.

5 Заключение

В работе рассмотрены компоненты и этапы развития ГИС как основного инструмента перехода к цифровому контенту геоданных. Настоящий период знаменуется масштабной цифровой трансформацией, и здесь следует отметить ведущую роль ГИС в обеспечении пользователей доступом к оцифрованным

модели данных ГИС (функции, растры, топологии, сети и т. д.).

Представление геоовизуализации: ГИС — это набор интеллектуальных карт и других описаний, показывающих особенности отношений объектов земной поверхности. Различные представления карт базовой географической информации могут быть использованы в качестве «окна в БГД» для поддержки запросов, анализа и редактирования информации.

Представление геообработки: ГИС — это набор инструментов преобразования информации, которые формируют новые наборы геоданных из существующих наборов геоданных. Эти функции геообработки

георесурсам и реализации поддержки принятия решений в процессе интеграции цифровых технологий во все аспекты бизнес-деятельности компаний, оперирующих геоданными. Отмечено, что самой неисследованной проблемой ГИС все еще остается ликвидация разрыва между различными моделями интероперабельности, используемыми для ее формирования. Решение этой проблемы обеспечило бы создание объединенного метода, учитывающего сильные стороны и слабости каждой отдельной модели при их интеграции.

Литература

1. Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W. Geographic information systems and science. — New York, NY, USA: Wiley, 2001. 273 p.
2. Lemmens R. Semantic interoperability of distributed geo-services. — Rotterdam, Netherlands: Optima Graphic Communication, 2006. 312 p.
3. Дулин С. К., Дулина Н. Г. От согласованности геоданных к семантической геоинтероперабельности. — М.: ВЦ РАН, 2014. 28 с.
4. Turnitsa C., Tolk A. Battle management language: A triangle with five sides // Spring Simulation Interoperability Workshop. — Los Alamitos, CA, USA: IEEE CS Press, 2006. Paper 06S-SIW-016. 10 p.
5. О Esri CIS: От карты и анализа к пониманию пространства. <https://www.esri-cis.ru/ru-ru/about/about-esri/overview>.

Поступила в редакцию 03.07.21

GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM — TOOL FOR DIGITAL GEODATA TRANSFORMATION

I. N. Rozenberg¹, S. K. Dulin^{1,2}, and N. G. Dulina²

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: The paper discusses the processes typical for the digitization of geoinformation in the GIS information environment. The evolution of the processing of digitized geoinformation by means of GIS is considered. Digital geodata, as experience shows, ensure the improvement of the activities of any company. However, most modern geodata are not interoperable: they are stored in isolated geodatabases, noninteroperable systems, and used in restricted applications. In this connection, it is difficult to exchange geodata; often, it is not possible to analyze and interpret them. The necessity of the existence of geointeroperability for digital transformation of geodata is shown. The existing

models of interoperability used for the formation of GIS are listed. It is noted that the most unexplored problem of GIS is still the elimination of the gap between the various models of interoperability used to form it. Solving this problem would provide a unified method that takes into account the strengths and weaknesses of each individual model when they are integrated.

Keywords: GIS; digital transformation; geointeroperability

DOI: 10.14357/08696527220104

References

1. Longley, P. A., M. F. Goodchild, D. J. Maguire, and D. W. Rhind. 2001. *Geographic information systems and science*. New York, NY: Wiley. 273 p.
2. Lemmens, R. 2006. *Semantic interoperability of distributed geoservices*. Rotterdam, Netherlands: Optima Graphic Communication, 2006. 312 p.
3. Dulin, S. K., and N. G. Dulina. 2014. *Ot soglasovannosti geodannykh k semanticheskoy geointeroperabel'nosti* [From consistency of geodata to semantic geointeroperability]. Moscow: CC RAS. 28 p.
4. Turnitsa, C., and A. Tolk. 2006. Battle management language: A triangle with five sides. *Spring Simulation Interoperability Workshop Proceedings*. Los Alamitos, CA: IEEE CS Press. Paper 06S-SIW-016. 10 p.
5. O Esri CIS: Ot karty i analiza k ponimaniyu prostranstva [About Esri CIS: From map and analysis to understanding space]. Available at: <https://www.esri-cis.ru/ru-ru/about/about-esri/overview> (accessed February 7, 2022).

Received July 3, 2021

Contributors

Rozenberg Igor N. (b. 1965) — Doctor of Science in technology, professor, 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

Dulina Natalia G. (b. 1947) — Candidate of Science (PhD) in technology, leading programmer, A. A. Dorodnicyn Computing Center, Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, 40 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; ngdulina@mail.ru

СОЗДАНИЕ ФОНЕТИКО-АКУСТИЧЕСКОЙ БАЗЫ РУССКИХ ТРИГРАММ

Ю. И. Бутенко¹, Ю. В. Строганов², А. В. Квасников³, Н. В. Славнов⁴

Аннотация: Представлена фонетико-акустическая база русских триграмм для анализа и синтеза русской речи. Приведена классификация русских триграмм, выделены легко- и труднопроизносимые триграммы. Отмечено, что триграммы в составе слова полностью или частично совпадают с морфемами русского языка. Проиллюстрированы варианты разметки речевых записей в системе разметки звучащей речи. Проанализирована и проиллюстрирована при помощи осциллограмм вариативность произношения русских триграмм разными дикторами. Показано, что система разметки речи позволяет учитывать персональные характеристики диктора, влияющие на качество произношения. Исследовано влияние расположения фонемы в слове на качество ее распознавания. Предложено использовать частотность употребления и позицию триграммы в слове в качестве весов при использовании триграмм в задачах распознавания и синтеза речи.

Ключевые слова: фонетико-акустическая база; триграмма; диктор; разметка; осциллограмма; произношение; вариативность

DOI: 10.14357/08696527220105

1 Введение

Совокупность речевых фрагментов и созданных на их основе баз данных, которые обеспечены программными средствами доступа к ним, представляют собой речевые базы или корпуса конкретного языка [1]. При моделировании просодических характеристик речи и индивидуальных особенностей диктора такой подход становится определяющим для качественного анализа и синтеза устной речи. Наиболее известные речевые базы и корпуса: корпус английского языка TIMIT [2], речевой корпус русского языка ISABASE [3], речевой корпус русского языка RuSpeech [4], основными базовыми единицами которых являются аллофоны и дифоны. Для дифонного анализа и синтеза речи используют базы данных, содержащие все возможные для заданного языка двучленные комби-

¹Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, iubutenko@bmtu.ru

²Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, stroganovv@bmtu.ru

³Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, nv.slavnov@gmail.com

⁴Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, videot4pe@gmail.com

нации фонем, а при использовании аллофонов проводят учет всех возможных сочетаний левого и правого контекста [5].

Для проектируемой базы для анализа и синтеза русской речи в качестве базисных элементов были определены триграммы [6, 7] и их фонемная реализация в устной речи. Отметим, что в рамках исследования под триграммой подразумевается сочетание из трех букв. В связи с тем что в устной речи одна и та же триграмма может быть реализована как трифон, дифон или аллофон, для их обозначения авторы используют термин «вариативность произношения триграммы». На основе выводов исследований [6, 7] можно предположить, что использование триграмм во время автоматического декодирования повысит качество распознавания речи, так как при делении на триграммы в составе слова большей длины выделяются укрупненные единицы, которые полностью или частично совпадают с морфемами русского языка. Цель статьи — описание фонетико-акустической базы русских триграмм, направленной на установление соответствий между триграммами и их фонемной реализацией в устной речи.

2 Особенности сбора и разметки речевого материала

Сущность подхода к построению фонетико-акустической базы состоит в формировании минимального набора осмысленных слов и словосочетаний, который после обработки обеспечивает покрытие множества всевозможных комбинаций триграмм русской речи.

Для подготовки речевых фрагментов и дальнейшей сегментации речевого сигнала триграммы распределены по следующим классам:

1. Гласный–гласный–гласный: *eee*.
2. Гласный–гласный–согласный: *oot, oop, oav*.
3. Согласный–гласный–гласный: *soo, soa, коо*.
4. Гласный–согласный–гласный: *ова, еле, ело, обо*.
5. Согласный–согласный–гласный: *ска, сте, зна, тво, сти, ско*.
6. Гласный–согласный–согласный: *ост, осн, отл, утр*.
7. Согласный–гласный–согласный: *мен, нав, тар, дес*.
8. Согласный–согласный–согласный: *взд, впр, бст, сст*.

Основываясь на исследовании трудности произношения триграмм [7, 8], можно предположить, что легкопроизносимые триграммы гласный–согласный–гласный будут и распознаваться с более высокой степенью вероятности, нежели труднопроизносимые буквосочетания согласный–согласный–согласный.

Для создания фонетико-акустической базы вариативности произношения русских триграмм необходимо собрать материал для внесения в базу с следующей разметкой. В настоящее время материалом для разметки служит ограниченная коллекция текстов, озвученная каждым из дикторов. Каждый

текст ориентирован на частое использование определенных букв и их сочетаний в разных позициях в слове, например: *чужеземцы жутко ошибаются, подшучивая над шаблонным мышлением швейцарцев*. Объем одного текста составляет 300–500 знаков.

В связи с тем что от качества разметки базы зависит качество синтеза и точность распознавания речи, разметка осуществляется студентами-лингвистами вручную с использованием полуавтоматических средств просмотра осциллограмм. Задача сбора аудиозаписей, в свою очередь, осложнена рядом факторов, которые также необходимо учитывать при создании базы, таких как уровень образования диктора, длительное проживание в другом регионе с ярко выраженным диалектом, наличие физиологических особенностей, развитие болезней, связанных с речью и дыханием, которые обязательно необходимо отразить в системе [9].

Разметка голосовых записей проводится в разработанной авторами системе разметки звучащей речи, которая служит основой для разработки фонетико-акустической базы русских триграмм как совокупности речевых фрагментов и созданной на их основе базы данных, которая обеспечена программными средствами доступа [9].

Для разметки аудиосообщения необходимо заполнить следующую информацию о дикторе: *псевдоним* (строка-идентификатор, по которой можно найти диктора при добавлении к аудиозаписи); *имя* (строка вида <Фамилия><Имя><Отчество (опционально)>); *город*; *страна*; *родной язык*; *пол*; *возраст*; *нарушения речи*, если они выявлены при прослушивании записи. В базе доступно два вида разметки: по отдельным словам и фонемам (рис. 1).

Для оценки вариативности произношения одного слова разными дикторами реализованы запросы по выявлению триграмм и трифонов путем сравнения одинаковых триграмм в разных словах или частях слов. Демонстрация результатов поиска триграмм осуществляется через показ осциллограммы всего слова. Соот-



Рис. 1 Виды разметки в фонетико-акустической базе русских триграмм

несение триграмм с их звуковой реализацией осуществляется не автоматически, но автоматизировано: поисковый запрос к базе позволяет выделить все записи, где встречается заданная последовательность букв, или, наоборот, найти все записи, содержащие в произношении указанную последовательность звуков; более сложный запрос позволяет находить такие записи, где размещены триграммы в тексте и трифоны в размеченной записи, однако не гарантируется, что запрашиваемые трифоны и триграммы относятся к одинаковому участку осциллограммы.

3 Вариативность произношения русских триграмм

Задача фонетико-акустической базы состоит в установлении отношений между акустическим сигналом и триграммой. При распознавании речи, поделенной на триграммы, становится возможным предположить вероятностное прогнозирование последующих фонем.

В качестве примера рассмотрим вариативность произношения слова «конфронтация» тремя разными дикторами. На рис. 2 показано, как один из дикторов произносит его четко, а другие дикторы комкают и урезают некоторые фонемы, что может быть вызвано рядом причин. Например, это может быть связано с тем, что это слово было в конце всего текста и дикторы устали от сложного текста, увиденного в первый раз.

Исследование показало, что на качество речи влияют эмоции, выражаемые человеком во время ее произнесения, наличие нарушений дыхания, дефектов речи и голосового тракта, одышка, наличие ярко выраженного акцента или говора. При разметке записей выявлено, что ближе к концу записи темп чтения

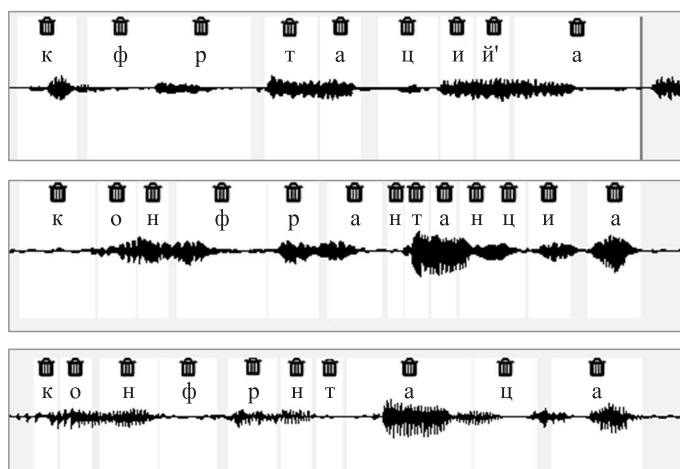


Рис. 2 Варианты произношения слова «конфронтация» разными дикторами

замедлялся, длина произнесенных фонем увеличивалась, так же как и число речевых ошибок.

При разметке слова «конфронтация» триграмма «рон» разными дикторами произносилась как [рон], [рн], [ран] или редуцировалась до аллофона [р], а триграмму «тац» все дикторы произнесли одинаково, так как она совпадает с ударным слогом.

Таким образом, при распознавании речи на основе вариативности произношения триграмм авторы считают целесообразным использовать следующие веса: частотность употребления и позицию триграммы в слове. Наиболее частотные триграммы совпадают с аффиксами и окончаниями: тридцать наиболее частотных триграмм русского языка следующие: «ост», «что», «про», «его», «ени», «ого», «ста», «ать», «ото», «при», «ест», «енн», «это», «сто», «аза», «ств», «тор», «оро», «ере», «оль», «как», «она», «ова», «был», «али», «лся», «все», «вер», «тел», «льн». Таким образом, наиболее частотные триграммы подвержены антиципации. Редко встречаются триграммы, содержащиеся в словах иностранного происхождения (макИЯЖ, цепеЛЛИн) и составных словах (аДМЧасть, глаВВРач).

Триграмма «кон» в ударной позиции в словах *виконт, закон, конь, исконный* всеми дикторами произносится одинаково; в словах *конце, окон, наконец, конечно, контору* имеет 3 варианта произношения [кон], [кан] и [кн], а также может редуцироваться до [ко] или [к] в таких словах, как *конфронтация, конфликт*, из-за произносительной сложности триграмм «нфр» и «нфл».

В настоящее время фонетико-акустическая база русских триграмм создана и наполняется речевым материалом; предполагается последующее размещение ее в открытом доступе. Студенты факультетов «Лингвистика» и «Информатика и управление» МГТУ им. Н. Э. Баумана активно используют базу для проведения исследований в области фонетики, количественной лингвистики и автоматического распознавания и синтеза устной речи [10].

4 Заключение

В основу фонетико-акустической базы для анализа и синтеза русской речи положены триграммы, так как они полностью или частично совпадают с морфемами русского языка. Исходя из произносительной сложности, триграммы распределены по классам: гласный–гласный–гласный, гласный–гласный–согласный, согласный–гласный–гласный, гласный–согласный–гласный, согласный–согласный–гласный, гласный–согласный–согласный, согласный–гласный–согласный, согласный–согласный–согласный. Материалом исследования стали голосовые записи одного и того же текста, озвученного разными дикторами, с набором триграмм на различных позициях в слове с целью последующего сравнения участков осциллограмм с одинаковыми последовательностями звуков. В системе разметки звучащей речи используется пословная и пофонемная разметка. Фонетико-акустическая база позволяет устанавливать отношения между акустическим

сигналом и триграммой. При распознавании речи на основе триграмм в качестве весов предложено использовать частотность употребления и позицию триграммы в слове.

Литература

1. Захаров В. П. Корпуса русского языка // Труды Института русского языка им. В. В. Виноградова, 2015. № 6. С. 20–65.
2. DARPA TIMIT acoustic phonetic continuous speech corpus. <https://catalog.ldc.upenn.edu/ldc93s1>.
3. Богданов Д. С., Кривнова О. Ф., Подрабинович А. Я., Фарсобина В. В. База речевых фрагментов русского языка ISABASE // Интеллектуальные технологии ввода и обработки информации. — М.: Эдиториал УРСС, 1998. С. 74–85.
4. Кривнова О. Ф. Русский речевой корпус RuSpeech // Фонетика сегодня: Мат-лы докладов и сообщений VII Междунар. конф. — М.: Институт русского языка им. В. В. Виноградова РАН, 2013. С. 54–56.
5. Израилова Э. С. О создании фонетико-акустической базы в рамках синтеза чеченской речи // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Системный анализ и информационные технологии, 2017. № 2. С. 111–115.
6. Фрумкина Р. М., Василевич А. П., Герганов Е. Н. Субъективные оценки частот элементов текста как прогнозирующий фактор // Вероятностное прогнозирование в речи. — М.: Наука, 1971. С. 70–93.
7. Фрумкина Р. М., Василевич А. П. Произносительная трудность буквосочетаний и ее связь с порогами зрительного распознавания // Вероятностное прогнозирование в речи. — М.: Наука, 1971. С. 94–106.
8. Eng T. L., Hellige J. B. Hemispheric asymmetry for processing unpronounceable and pronounceable letter trigrams // Brain Lang., 1994. Vol. 46. Iss. 4. P. 517–535.
9. Бутенко Ю. И., Строганов Ю. В., Шевченко В. И., Славнов Н. В., Квасников А. В. Система разметки звучащей речи для сравнительного анализа произношения в различных диалектах // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Системный анализ и информационные технологии, 2020. № 4. С. 168–176. doi: 10.17308/sait.2020.1/2631.
10. Бутенко Ю. И., Коноплева А. А. Методология использования нейросетевых технологий при распознавании триграмм // Нейрокомпьютеры: разработка, применение, 2020. № 1. С. 5–17. doi: 10.18127/j19998554-202001-01.

Поступила в редакцию 18.08.20

PHONETIC-ACOUSTIC DATABASE OF RUSSIAN TRIGRAMS

Yu. I. Butenko, Yu. V. Stroganov, A. V. Kvasnikov, and N. V. Slavnov

N. E. Bauman Moscow State Technical University, 5-1, 2nd Baumanskaya Str.,
Moscow 105005, Russian Federation

Abstract: The article describes the phonetic-acoustic base of Russian trigrams for analysis and synthesis of Russian speech. The classification of the Russian trigrams is given as well as trigrams easy and difficult for pronunciation are highlighted. It is noted that the trigrams in the composition of the word fully or partially coincide with the morphemes of the Russian language. The variants of marking of speech records in the system of marking sounding speech are illustrated. Variability in pronunciation of Russian trigrams by different speakers is analyzed and illustrated by means of oscillograms. It is shown that the speech markup system allows taking into account personal characteristics of the speaker, affecting the quality of pronunciation. The influence of phoneme location in the word on the quality of its recognition is studied. It is suggested to use frequency of use and the position of the phoneme in the word as weights when using trigrams in speech recognition and synthesis tasks.

Keywords: phonetic-acoustic base; trigram; speaker; annotation; oscillogram; pronunciation; variability

DOI: 10.14357/08696527220105

References

1. Zaharov, V. P. 2015. Korpusa russkogo yazyka [Russian language corpora]. *Trudy Instituta russkogo yazyka im. V. V. Vinogradova* [V. V. Vinogradov Russian Language Institute Proceedings] 6:20–65.
2. DARPA TIMIT acoustic phonetic continuous speech corpus. Available at: <https://catalog.ldc.upenn.edu/LDC93S1> (accessed February 9, 2022).
3. Bogdanov, D. S., O. F. Krivnova, A. Ya. Podrabinovich, and V. V. Farsobina. 1998. Baza rechevykh fragmentov russkogo yazyka ISABASE [Base of Russian language speech fragments ISABASE]. *Intellektual'nye tekhnologii v voda i obrabotki informatsii* [Intelligent information input and processing technologies]. Moscow: Editorial URSS. 74–85.
4. Krivnova, O. F. 2013. Russkiy rechevoy korpus RuSpeech [Russian speech corpa RuSpeech]. *7th Conference (International) "Phonetics Today" Proceedings*. Moscow: V. V. Vinogradov Russian Language Institute RAS Pubs. 54–56.
5. Izrailova, E. S. 2017. O sozdanii fonetiko-akusticheskoy bazy v ramkakh sinteza chechenskoy rechi [On the creation of phonetic-acoustic database within synthesis of the Chechen speech]. *Vestnik VGU. Ser. Sistemnyy analiz i informatsionnye tekhnologii* [Proceedings of Voronezh State University. Ser. System analysis and information technology] 2:111–115.

6. Frumkina, R. M., F. P. Vasilevich, and E. N. Gerganov. 1971. Sub'ektivnye otsenki chastot elementov teksta kak prognoziryushchiy faktor [Subjective estimates of text element frequencies as a predictive factor]. *Veroyatnostnoe prognozirovanie v rechi* [Probabilistic prediction in speech]. Moscow: Nauka. 70–93.
7. Frumkina, R. M., and A. P. Vasilevich. 1971. Proiznositel'naya trudnost' bukvosochetaniy i ee svyaz' s porogami zritel'nogo raspoznavaniya [Relative difficulty of letter combinations and its connection with visual recognition thresholds]. *Veroyatnostnoe prognozirovanie v rechi* [Probabilistic prediction in speech]. Moscow: Nauka. 94–106.
8. Eng, T. L., and J. B. Hellige. 1994. Hemispheric asymmetry for processing unpronounceable and pronounceable letter trigrams. *Brain Lang.* 46(4):517–535.
9. Butenko, Iu. I., Yu. V. Stroganov, V. I. Shevchenko, N. V. Slavnov, and A. V. Kvasnikov. 2020. Sistema razmetki zvuchashchey rechi dlya sravnitel'nogo analiza proiznosheniya v razlichnykh dialektakh [Speech annotation system for the comparative analysis of pronunciation in different dialects]. *Vestnik VGU. Ser. Sistemnyy analiz i informatsionnye tekhnologii* [Proceedings of Voronezh State University. Ser. System analysis and information technology] 4:168–176. doi: 10.17308/sait.2020.1/2631.
10. Butenko, Yu. I., and A. A. Konopleva. 2020. Metodologiya ispol'zovaniya neyrosetevykh tekhnologiy pri raspoznavanii trigram [Methodology for neuron-network technologies in recognition of trigrams]. *Neyrokomp'yutery: razrabotka, primenenie* [Neurocomputers] 1:5–17. doi: 10.18127/j19998554-202001-01.

Received August 18, 2020

Contributors

Butenko Yuliya I. (b. 1987) — Candidate of Science (PhD) in technology, associate professor, N. E. Bauman Moscow State Technical University, 5-1, 2nd Baumanskaya Str., Moscow 105005, Russian Federation; iubutenko@bmstu.ru

Stroganov Yuriy V. (b. 1993) — senior lecturer, N. E. Bauman Moscow State Technical University, 5-1, 2nd Baumanskaya Str., Moscow 105005, Russian Federation; stroganovyv@bmstu.ru

Kvasnikov Alexander V. (b. 1999) — master student, N. E. Bauman Moscow State Technical University, 5-1, 2nd Baumanskaya Str., Moscow 105005, Russian Federation; videot4pe@gmail.com

Slavnov Nikolai V. (b. 1999) — master student, N. E. Bauman Moscow State Technical University, 5-1, 2nd Baumanskaya Str., Moscow 105005, Russian Federation; nv.slavnov@gmail.com

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ВНУТРЕННЕГО КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

А. А. Зацаринный¹, Ю. С. Ионенков²

Аннотация: Статья посвящена вопросам оценки качества информационных систем (ИС). Основное внимание уделено рассмотрению внутренней стороны качества ИС, связанной с удобством их разработки и производства, технологичностью, безопасностью и снижением издержек проектирования. Рассмотрены исторические аспекты формирования сущности внутренней стороны качества ИС, представленные в работах Уолтера Шухарта, Уильяма Эдварда Деминга и Арманда Фейгенбаума. Представлены основные методы проектирования ИС, направленные на снижение затрат при их проектировании в соответствии с международными и отечественными стандартами. Сформулированы основные проблемы применения этой нормативной базы отечественными заказчиками и разработчиками.

Ключевые слова: качество; внутреннее качество; оценка качества; менеджмент качества; стандарты проектирования; информационная система

DOI: 10.14357/08696527220106

1 Введение

В настоящее время наблюдается все возрастающая значимость ИС в создании информационно-телекоммуникационной инфраструктуры и внедрении в государственное управление современных информационных технологий, включая технологии искусственного интеллекта, больших данных, машинного обучения и др. При этом возрастают требования к их качеству. Новые подходы к оценке качества ИС требуют все более полного учета разработчиками экономических факторов, сдвига от административных рычагов контроля качества к организационно-экономическим мерам управления качеством, перехода к гибкой системе стандартизации, позволяющей разработчикам более оперативно реагировать на требования пользователей к качеству систем.

В [1] были рассмотрены проблемные вопросы оценки качества ИС и сформулированы предложения по совершенствованию нормативной базы в области оценки качества. В то же время многие современные исследователи проблем качества разделяют понятие «качество» на внешнее (external) и внутреннее (internal).

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

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

В частности, такой подход определен в стандарте ИСО/МЭК 9126 (9126-2 — внешнее качество, 9126-3 — внутреннее качество) [2]. Внешнее качество характеризует способность ИС удовлетворять потребности конечного пользователя, а внутреннее качество связано с удобством ее разработки и производства, технологичностью, безопасностью, снижением издержек проектирования. В [1] рассмотрена преимущественно внешняя сторона качества ИС.

В настоящей статье рассматриваются вопросы, относящиеся к внутренней стороне качества ИС, включая ее общую характеристику, а также подходы к снижению издержек проектирования и обеспечению информационной безопасности.

2 Некоторые исторические аспекты внутренней стороны качества информационной системы

Основы философии качества, в которой выделялись две стороны, внешняя и внутренняя, были заложены в середине прошлого века американскими учеными Уолтером Шухартом и Уильямом Эдвардом Демингом [3, 4].

Главная идея концепции У. Шухарта состоит в «улучшении качества за счет уменьшения изменчивости процесса производства» [3]. Шухарт раскрыл важность постоянного и осознанного устранения вариаций из всех процессов производства изделий. Ученым была разработана концепция производственного контроля на основе карт статистического контроля — так называемых «контрольных карт Шухарта». Эти методы контроля позволили сосредоточить усилия на увеличении числа годных изделий за счет максимального сокращения вариаций. Центральным в трудах и выступлениях У. Шухарта было положение о том, что в удовлетворении человеческих потребностей должен существовать баланс между экономической ценностью некоей разработки и затратами на ее производство.

Деминг предложил 14 принципов для менеджмента различных предприятий [4]. Один из них гласит: «Постоянно и неизменно совершенствуйте систему производства и обслуживания, чтобы повышать качество и производительность и таким образом постоянно снижать затраты».

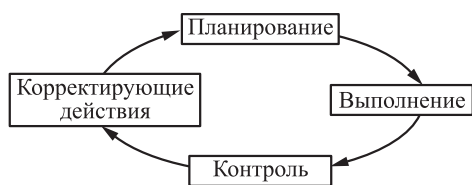


Рис. 1 Цикл Деминга

Исследования и разработки Э. Деминга положены в основу современной концепции менеджмента качества. Широко известен цикл PDCA (Plan–Do–Check–Act — планирование, выполнение, контроль, действия), или «цикл Деминга», который представляет собой модель постоянного улучшения качества (рис. 1).

Согласно этой модели, любая деятельность может быть разделена на четыре этапа.

Первый этап — планирование. Руководитель должен определить, чего он хочет достичь, что для этого необходимо изменить и как это нужно сделать.

Второй этап — выполнение. На этом этапе выполняется запланированный процесс.

Третий этап — контроль. Сравнение запланированных показателей с достигнутыми и установление разницы между желаемым и действительным.

Четвертый этап — корректирующие действия. После установления разницы между желаемым и действительным руководитель анализирует причины несоответствий и принимает меры по их устранению.

Деминг первым обратил внимание на то, что повышение качества не только увеличивает производительность, но и позволяет снизить стоимость изготавливаемой продукции. Им предложена схема, демонстрирующая влияние качества на экономику производства, получившая название «цепная реакция Деминга» (рис. 2).

Именно эта схема показывает, что уменьшение затрат, повышение производительности и успешное функционирование компании на рынке и есть следствие улучшения качества.

Отдельные аспекты внутренней стороны качества рассматривались также в трудах А. Фейгенбаума. Он является автором концепции комплексного контроля качества и так определяет смысл введенного им термина: «Комплексный контроль качества — эффективная система, интегрирующая все усилия разных групп организации по обеспечению качества разработки, качества технического обслуживания, а также по улучшению качества, чтобы обеспечить возможность изготовления продукции или оказания услуги наиболее экономичным путем в целях полного удовлетворения потребителя» [5].

В СССР и в начальный период в России контроль качества в основном проводился на этапе производства, а вопросу снижения издержек при проектировании внимания практически не уделялось. В настоящее время взят курс на внедрение системы управления качеством, основанной на стандартах серии ИСО 9000. Большое внимание уделяется гармонизации отечественных и международных стандартов качества.

Проблема качества — одна из главных задач развития экономики нашей страны. Основными проблемами, стоящими перед отечественными разработчи-

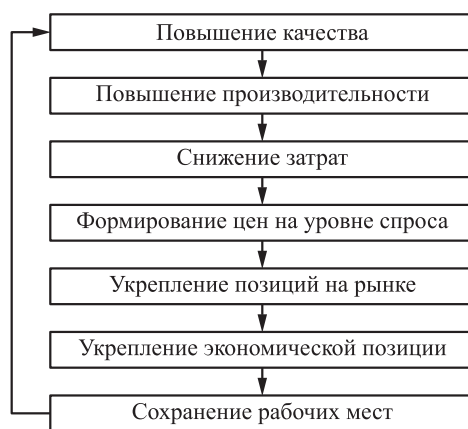


Рис. 2 Цепная реакция Деминга

ками и производителями в направлении совершенствования системы управления качеством, являются ориентация систем управления качеством и всей производственной деятельности на потребителя, а также усиление механизма воздействия систем управления качеством на все стадии жизненного цикла продукции, включая (в первую очередь) стадию проектирования.

3 Методы проектирования информационных систем, направленные на снижение затрат

С целью снижения затрат при проектировании систем в последнее время разработан ряд международных и отечественных стандартов.

Один из них — TOGAF (The Open Group Architecture Framework) [6], широко применяемый в США, Великобритании и других странах и использующий архитектурный подход. TOGAF представляет собой, по существу, методологию описания архитектуры предприятия, включая подходы к проектированию, планированию, внедрению IT-архитектуры и управлению ею.

В состав модели TOGAF входят два основных компонента:

- (1) метод разработки архитектуры (ADM, Architecture Development Method);
- (2) базовая архитектура (Foundation Architecture).

В соответствии с ADM разработка системной архитектуры состоит из следующих фаз (рис. 3):

- предварительная фаза предусматривает подготовку условий для разработки архитектуры, включая адаптацию TOGAF к реальной среде;
- фаза А: архитектурное видение. Включает планирование основных мероприятий, определение заинтересованных сторон, создание «архитектурного видения» и утверждение этого видения у руководства;
- фаза В: бизнес-архитектура. Предусматривает разработку архитектуры деятельности предприятия в соответствии с ранее утвержденным видением;
- фаза С: архитектура ИС;
- фаза D: технологическая архитектура;
- фаза Е: благоприятные возможности и решения. Фаза устанавливает набор возможных средств для достижения целевой архитектуры;
- фаза F: планирование миграции. Фаза предусматривает разработку «Плана реализации и перехода», детализированного до уровня пакетов работ, которым можно дать стоимостную оценку;
- фаза G: управление внедрением. Обеспечивает архитектурный надзор в процесс перехода от текущего состояния к целевому;
- фаза H: управление архитектурными изменениями. Обеспечивает управление всеми изменениями, которые вносятся в целевую архитектуру;

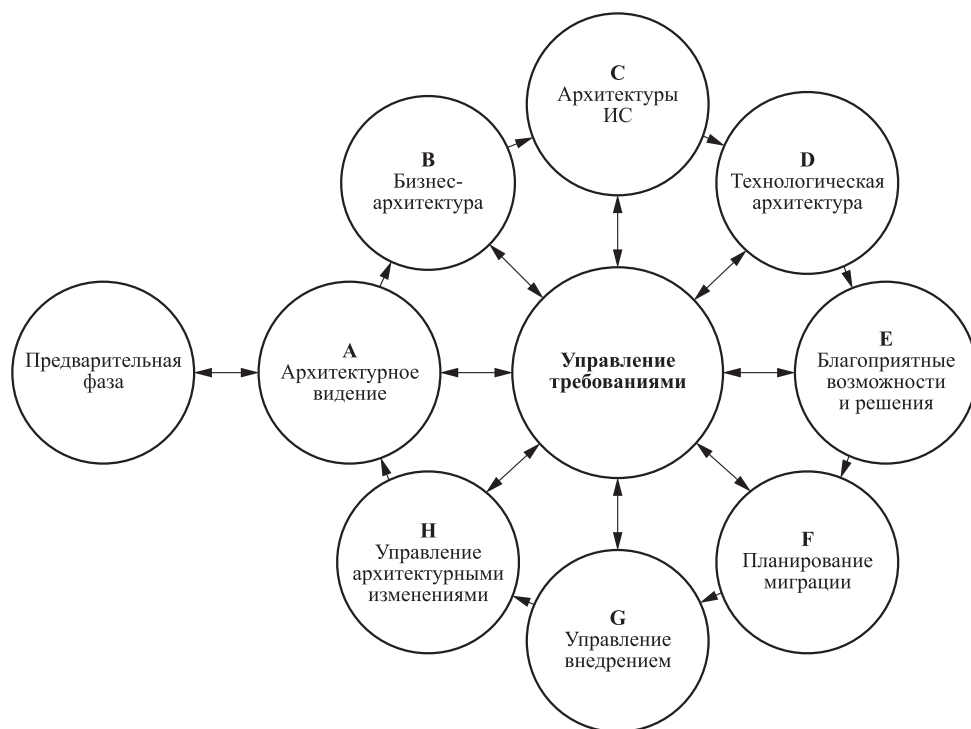


Рис. 3 Метод разработки архитектуры ADM

– управление требованиями — это процесс, который охватывает все этапы разработки архитектуры и обеспечивает целостность всего проекта.

Базовая архитектура включает в себя:

- набор наиболее общих служб и функций;
- набор элементарных архитектурных элементов, которые используются как «строительные блоки» при построении конкретных решений;
- архитектурные блоки — определяют требования и создают каркас, необходимый для их реализации;
- блоки реализации — определяют компоненты готового решения;
- база данных стандартов.

Считается, что TOGAF может создать основу для внутрикорпоративной стандартизации и снижения проектных рисков при разработке архитектуры. В результате создается работоспособная и экономически эффективная архитектура предприятия, ориентированная на потребности бизнеса.

Современные отечественные стандарты проектирования ИС все более широко ориентируются на международные стандарты и формируются как путем аутентичного перевода международного стандарта на русский язык, так и путем их гармонизации, т. е. приведения в соответствие с отечественными требованиями в области терминологии, принципов применения и т. д.

Такие стандарты в основном имеют рамочный характер. Рамочные стандарты задают общие требования к реализации процессов, связанных с разработкой и поддержкой жизненного цикла систем. Они обычно используются как методологическая основа для организации этих процессов с необходимой конкретизацией для каждого предприятия или области деятельности. Среди отечественных стандартов в этой области выделяются стандарты, определяющие процессы жизненного цикла систем — ГОСТ Р 57193-2016 [7] (неидентичный стандарт ISO/IEC 15288-2015) и программных средств — ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 [8] (идентичен международному стандарту ИСО/МЭК 12207-2008).

В ГОСТ Р 57193-2016 сформирован новый взгляд на системы и их проектирование, который характеризуется следующим:

- для противодействия растущей сложности систем использован единый комплексный подход к их созданию и формированию процессов жизненного цикла любой сложности и уровня;
- область действий и процессов существенно расширена, в нее включены как бизнес-процессы, так и технические процессы, рассматриваемые в связи друг с другом.

ГОСТ Р 57193-2016 определяет следующие группы процессов:

- процессы соглашения (2 процесса);
- процессы организационного обеспечения проекта (6 процессов);
- процессы технического управления (8 процессов);
- технические процессы (14 процессов).

Стандарт распространяется на полный жизненный цикл системы, включая замысел, разработку, производство, эксплуатацию и снятие с эксплуатации систем, а также приобретение и поставку систем. Необходимо отметить, что этот стандарт не предписывает определенной модели жизненного цикла системы, методологии, метода, модели или методики разработки. За выбор модели жизненного цикла, применение соответствующих методов, моделей и методик, наиболее приемлемых для проекта, ответственны заказчик и разработчик.

В 2021 г. ФИЦ ИУ РАН по заказу Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии выполнил работу «Разработка, гармонизация и подготовка к утверждению стандартов в области информационной безопасности и защиты информационных технологий с учетом современных тенденций их развития, в том числе обработки массивов больших данных, реализующих облачные, туманные, квантовые технологии, технологии виртуальной и дополненной реальности и искусственного интеллекта», в рамках которой разработаны 29 ГОСТов

(ГОСТ Р 59329–ГОСТ Р 59357), где определены требования к защите информации применительно к процессам, представленным в ГОСТ Р 57193-2016. Цель разработки данных стандартов — их привязка к процессам системной инженерии, представленным выше. Такой подход позволяет использовать их как автономно — при рассмотрении отдельных процессов, так и в комплексе с другими стандартами.

ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 определяет процессы жизненного цикла программных средств. Этот стандарт группирует различные виды деятельности, которые могут выполняться в течение жизненного цикла программных систем, в семь групп процессов:

- (1) процессы соглашения (2 процесса);
- (2) процессы организационного обеспечения проекта (5 процессов);
- (3) процессы проекта (7 процессов);
- (4) технические процессы (11 процессов);
- (5) процессы реализации программных средств (7 процессов);
- (6) процессы поддержки программных средств (8 процессов);
- (7) процессы повторного применения программных средств (3 процесса).

Отметим следующие особенности стандарта ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010:

- стандарт имеет динамический характер, обусловленный способом определения последовательности выполнения процессов и задач, при котором один процесс при необходимости вызывает другой или его часть;
- множество процессов и задач сконструировано так, что возможна их адаптация в соответствии с конкретными проектами ИС;
- стандарт не содержит описания конкретных методов действий, заготовок решений и документации. Решения такого типа принимаются сторонами, использующими стандарт (заказчиком и разработчиком).

Вместе с тем следует отметить, что представленная выше нормативная база отечественными заказчиками и разработчиками при проектировании ИС практически не используется. Это связано с общим характером стандартов (рамочные стандарты), которые требуют значительной адаптации для их использования на практике в направлениях формирования единой терминологической базы, разработки руководств по их применению, а также обеспечения совместимости с другими национальными стандартами.

Таким образом, отечественная нормативная база в области внутреннего качества ИС развита весьма слабо. Практически все имеющиеся стандарты являются результатом перевода международных и практически не используются при разработке ИС. В стандартах отсутствуют конкретные показатели качества и методы их расчета. В связи с этим очень важной задачей представляется разработка

стандартов, регламентирующих внутреннее качество ИС. При этом с учетом достижений стандартизации приоритетным направлением представляется разработка SMART (Standards Machine Applicable, Readable, and Transferrable) стандартов — стандартов в виде баз данных и моделей, ключевым потребителем которых являются ИС. Именно на этом уровне эволюции цифровой стандартизации применяются системы управления требованиями, интегрированные с CAD/CAM (computer-aided design/manufacture) и PLM/PDM (product life-cycle/data management) системами, системами, основанными на BIM (building information modeling) технологиях, автоматизированными системами управления технологическими процессами и иными управляющими системами, контролирующими выполнение требований стандартов.

4 Заключение

Новые подходы к проблеме качества требуют все более полного учета экономических факторов, перехода к гибкой системе стандартизации, позволяющей быстрее реагировать на меняющиеся требования к качеству продукции.

Реализация этих подходов существенно зависит от внутреннего качества ИС, которое связано с удобством их разработки и производства, технологичностью, безопасностью и снижением издержек проектирования. Показатели внутреннего качества позволяют оценивать качество промежуточного продукта, а также управлять технологическим обеспечением качества до момента создания готового конечного продукта.

К настоящему времени разработан ряд международных и отечественных стандартов, имеющих целью снижение затрат при проектировании систем. К числу наиболее распространенных международных стандартов можно отнести стандарт TOGAF, используемый в ряде стран. Среди отечественных стандартов в этой области выделяются стандарты, определяющие процессы жизненного цикла систем — ГОСТ Р 57193-2016 и программных средств — ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Однако по ряду причин указанные стандарты отечественными заказчиками и разработчиками при проектировании ИС практически не используются. Представляется целесообразной разработка стандартов, регламентирующих внутреннее качество ИС с учетом отечественных традиций проектирования, в том числе и на основе применения SMART-стандартов.

Литература

1. Зацаринный А. А., Ионенков Ю. С. Некоторые вопросы оценки качества информационных систем // Системы и средства информатики, 2021. Т. 31. № 4. С. 4–17.
2. ГОСТ ИСО/МЭК 9126-2001. Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению. — М.: Стандартинформ, 2013. 13 с.

3. Статистические методы повышения качества / Пер. с англ. — М.: Финансы и статистика, 1990. 301 с. (*Kume H., Gijutsusha K., Kyokai K.* 1985. Statistical methods for quality improvement. — Tokyo: Association for Overseas Technical Scholarship. 231 p.)
4. Деминг Э. Выход из кризиса / Пер с англ. — Тверь: Альба, 1994. 497 с. (*Deming W. E.* Out of the crisis. — Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1986. 520 p.)
5. Фейгенбаум А. Контроль качества продукции. — М.: Экономика, 1986. 471 с.
6. The Open Group Standard. The TOGAF® Standard, Version 9.2. — The Open Group, 2018. 532 p. <https://firebrand.training/dk/pdf/learn/open-group/togaf-standard.pdf>.
7. ГОСТ Р 57193-2016. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. — М.: Стандартинформ, 2016. 98 с.
8. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств. — М.: Стандартинформ, 2011. 106 с.

Поступила в редакцию 21.10.21

SOME ISSUES OF INTERNAL QUALITY ASSESSMENT OF INFORMATION SYSTEMS

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 119333, Russian Federation

Abstract: The article is devoted to the issues of assessing the quality of information systems (IS). The main attention is paid to the consideration of the internal side of the quality of IS related to the convenience of their development and production, manufacturability, safety, and reduction of design costs. The historical aspects of the formation of the essence of the inner side of the quality of IS presented in the works of W. Shuhart, E. Deming, and A. Feigenbaum are considered. The main methods of IS design aimed at reducing costs in their design in accordance with international and domestic standards are presented. The main problems of the application of this regulatory framework by domestic customers and developers are formulated.

Keywords: quality; internal quality; quality assessment; quality management; design standards; information system

DOI: 10.14357/08696527220106

References

1. Zatsarinny, A. A., Yu. S. Ionenkov, and A. P. Suchkov. 2018. Nekotorye voprosy otsenki kachestva informatsionnykh sistem [Some issues of information system quality assessment]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 31(4):4–17.

2. GOST ISO/IEC 9126-2001. 2013. Informatsionnaya tekhnologiya. Otsenka program-mnoy produktsii. Kharakteristiki kachestva i rukovodstva po ikh primeneniyu [Information technology. Software product evaluation. Quality characteristics and guidelines for their use]. Moscow: Standardinform Publ. 13 p.
3. Kume, H., K. Gijutsusha, and K. Kyokai. 1985. *Statistical methods for quality improvement*. Tokyo: Association for Overseas Technical Scholarship. 231 p.
4. Deming, W. E. 1986. *Out of the crisis*. Cambridge, MA: MIT Press. 520 p.
5. Feigendaum, A. 1986. *Kontrol' kachestva produktsii* [Product quality control]. Moscow: Ekonomika. 471 p.
6. The Open Group Standard. 2018. The TOGAF[®] standard, version 9.2. The Open Group. 532 p. Available at: <https://firebrand.training/dk/pdf/learn/open-group/togaf-standard.pdf> (assessed February 10, 2022).
7. GOST R 57193-2016. 2016. Sistemnaya i programmaya inzheneriya. Protsessy zhiz-nennogo tsikla sistem [System and software engineering. Systems life cycle processes]. Moscow: Standardinform Publ. 98 p.
8. GOST R ISO/IEC 12207-2010. 2010. Sistemnaya i programmaya inzheneriya. Prot-sessy zhiznennogo tsikla programmykh sredstv [Systems and software engineering. Software life cycle processes]. Moscow: Standardinform Publ. 106 p.

Received October 21, 2021

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

К ВОПРОСУ О СООТНОШЕНИИ ПРОГРАММНО ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ И ТРАДИЦИОННЫХ IP-СЕТЕЙ

В. Б. Егоров¹

Аннотация: Программное определение сетей (software-defined networking, SDN) — концепция организации сетей с централизованным программным управлением — стало модным трендом нашего столетия. Концепция постулирует сосредоточение всех функций плоскости управления в логически единственном контроллере сети, упрощение узлов плоскости данных до простых коммутаторов и унифицированный протокол взаимодействия с ними контроллера. Идея SDN родилась и была изначально реализована в университетских лабораториях, однако перенос ее в датацентры, а затем в провайдерские сети выявил в ней ряд слабых мест, в числе которых можно отметить начальный пуск (bootstrapping) сети и удаленное конфигурирование ее узлов, не укладывающиеся в ряде случаев в рамки исходной концепции SDN. Практика развертывания SDN-сетей показала, что в них не удастся полностью отказаться от протокольного стека TCP/IP, который остается незаменимым, в частности, при начальном пуске и удаленном конфигурировании SDN-сети. В результате в реальности узлами SDN-сетей вместо концептуально простых коммутаторов оказываются традиционные полнофункциональные маршрутизаторы, лишь дополненные возможностями SDN, а сами SDN-сети остаются обычными IP-сетями, в которых централизованное управление оказывается не более чем дополнительной функциональной возможностью.

Ключевые слова: начальный пуск сети; программно определяемая сеть; удаленное конфигурирование сети; OF-CONFIG; OpenFlow

DOI: 10.14357/08696527220107

1 Введение

Программное определение сетей, родившись в начале века, быстро стало широко обсуждаемой перспективной концепцией организации сетей и модным трендом у поставщиков программного обеспечения (ПО). Основная идея нового подхода заключается в стягивании плоскости управления сети логически в одну точку — SDN-контроллер — и реализации всех функций управления сетью в этой точке программными средствами. Иными словами, SDN — это метод построения сетей с централизованным программным управлением [1, 2].

В изначальной концепции под SDN-контроллером понималось специфическое прикладное ПО, работающее на универсальном сервере или виртуальной машине. Централизация управления сетью и концентрация управленческих функций

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

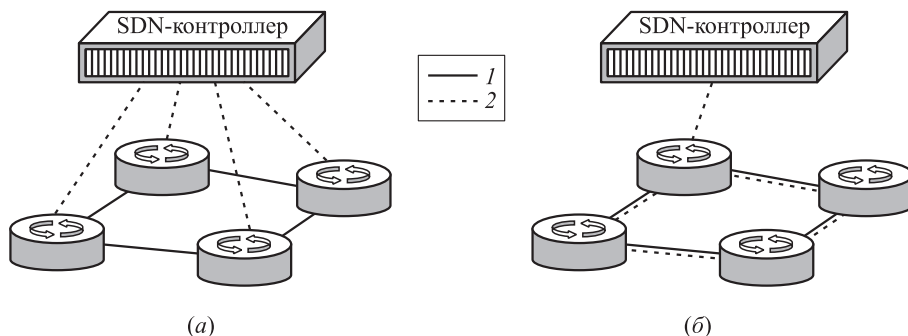
в SDN-контроллере освобождали от этих функций узлы сетевой инфраструктуры, а перенос всех программных компонентов из узлов сети в SDN-контроллер делал возможной чисто аппаратную реализацию плоскости данных. Концептуально это должно было вылиться в особо подчеркиваемый авторами идеи SDN отказ в сетевой инфраструктуре от дорогих многофункциональных устройств, таких как маршрутизаторы или шлюзы, и замену их простыми недорогими коммутаторами, которые аппаратно и, как следствие, предельно быстро выполняли бы коммутацию данных по правилам, формулируемым для них SDN-контроллером [3].

Концепция SDN была придумана и изначально успешно реализована в университетских лабораторных условиях. Но перенос ее в реальные датацентры, а затем в провайдерские сети и «облака» выявил у нее ряд слабых мест [4].

В плоскости управления критическими пунктами стали производительность и отказоустойчивость SDN-контроллера, из-за чего в больших и особенно территориально распределенных сетях логически единый контроллер вынужденно реализовывался на нескольких серверах или даже превращался в целую иерархию физических контроллеров. Еще более неприятным препятствием стала невозможность унификации прикладного ПО SDN-контроллера из-за уникальности каждой отдельно взятой сети по топологии, организации потоков данных и разнообразию условий соглашений по уровню сервиса (service level agreements). В плоскости же данных оказалось практически недостижимым главное потенциальное преимущество SDN-сетей — замена разнообразного дорогого многофункционального оборудования на унифицированные дешевые коммутаторы. Для сохранения в SDN-сетях традиционной IP-функциональности нашелся целый ряд причин, ниже обсуждаются две из них: особенности начального пуска (bootstrapping) и удаленного конфигурирования SDN-сетей.

2 Организация каналов управления SDN-сетью

Концепция SDN-сетей в значительной степени базируется на протоколе OpenFlow, стандарт которого был разработан Фондом открытых сетей (Open networks foundation, ONF) [5]. Идея OpenFlow возникла из констатации простого факта: все традиционные сетевые коммутирующие устройства так или иначе формируют и периодически обновляют некую таблицу коммутации (forwarding table). По записям в этой таблице, обычно хранящейся в ассоциативной памяти устройства, аппаратура выполняет собственно коммутацию. Содержание и формат таблиц коммутации, а также правила их формирования, коррекции и использования определяются производителем конкретного коммутационного оборудования. Иметь дело с такими таблицами может только аппаратура данного устройства и встроенное в него фирменное ПО (firmware). Протокол OpenFlow был призван унифицировать и стандартизировать в контексте SDN-сетей форматы и содержимое таблиц коммутации, а также правила работы с ними, чтобы сделать возможным управление всеми коммутаторами сети из единого центра. Попутно



Способы организации трактов управления (OpenFlow-трактов) в SDN-сети: (а) способ out-of-band; (б) способ in-band; 1 — тракты плоскости данных; 2 — тракты плоскости управления

преследовались цели упрощения инфраструктуры плоскости данных до простых OpenFlow-коммутаторов и обеспечения совместимости в рамках одной SDN-сети коммутационного оборудования от разных поставщиков.

На концептуальном уровне плоскость данных SDN-сети реализуется исключительно OpenFlow-коммутаторами, управление которыми сводится к заполнению и периодической корректировке в них унифицированных таблиц — таблиц потоков (flow tables) в стандарте OpenFlow, задающих правила работы с коммутируемыми потоками данных, что практически реализуется обменом сообщениями протокола OpenFlow между SDN-контроллером и коммутаторами. Этот обмен может быть организован двояко [6]: либо «вне полосы» (out-of-band) — по отдельным специально выделенным каналам, напрямую связывающим SDN-контроллер с коммутаторами, либо «в полосе» (in-band) — по тем же каналам, по которым в сети передаются данные. Разницу между двумя способами иллюстрирует рисунок.

Первый способ наглядней и проще в администрировании. При его реализации в рафинированном виде SDN-контроллер не является (парадокс!) абонентом сети и может работать с обычной операционной системой, поскольку концептуально все функции плоскости управления SDN-сети реализуются прикладным ПО контроллера. Подход out-of-band по определению гарантирует пропускную способность каналов и безопасность коммуникаций между SDN-контроллером и коммутаторами. Некоторым его недостатком можно считать необходимость наличия в каждом коммутаторе дополнительного физического OpenFlow-порта. Но гораздо неприятнее то, что способ out-of-band годится лишь для лабораторий и датацентров, но трудно применим в провайдерских сетях, где непросто организовать персональные управляющие каналы каждому коммутатору, а в ряде перспективных технологий, таких как интернет вещей (internet of things) например, он вообще не реализуем [7].

В противоположность способу out-of-band подход in-band не требует дополнительных управляющих каналов и физических портов в коммутаторах, так как взаимодействие последних с SDN-контроллером осуществляется по рабочим сетевым каналам и портам; протоколу OpenFlow достаточно получить для такого взаимодействия виртуальные локальные порты. В конечном счете подход in-band выливается в виртуальную управляющую OpenFlow-сеть, наложенную на физическую инфраструктуру плоскости данных SDN-сети. Способ in-band смотрится более простым в инфраструктурном аспекте, но и у него есть свои недостатки. Во-первых, здесь SDN-контроллер принципиально становится абонентом сети и ему необходима специализированная сетевая операционная система. Во-вторых, наложенная управляющая OpenFlow-сеть занимает часть полос пропускания каналов физической сети, снижая тем самым общую пропускную способность плоскости данных. Есть у способа in-band и еще одна серьезная неприятность — начальный пуск сети, который не желает вписываться в концепцию SDN.

Управление SDN-сетью in-band принципиально создает проблему начального пуска сети, а именно: загрузки в ее узлы исходного содержимого таблиц потоков. С одной стороны, чтобы наложенная OpenFlow-сеть плоскости управления могла выполнять свои функции, физическая сеть плоскости данных должна быть работоспособна и управляема. С другой стороны, чтобы физическая сеть была работоспособна и управляема, должна полноценно функционировать наложенная на нее OpenFlow-сеть. Иными словами, начальный пуск SDN-сети невозможен без работоспособной OpenFlow-сети, а та не может функционировать без работоспособной физической сети-подосновы.

3 Особенности начального пуска SDN-сети

В SDN-сетях, управляемых out-of-band, OpenFlow-сети фактически нет: протокол OpenFlow функционирует на выделенных каналах «точка-точка» (см. рисунок) и формально вообще не является сетевым. (Следует заметить, что это не помешало авторам стандарта оговорить в более поздних его версиях обязательную поддержку на OpenFlow-каналах протокольного стека TCP/IP, хотя, на первый взгляд, вполне можно было бы обойтись простой инкапсуляцией сообщений OpenFlow, например в кадры Ethernet.) При управлении out-of-band у SDN-контроллера априори имеются в наличии действующие связи со всеми узлами сети, и он может выполнить ее начальный пуск средствами протокола OpenFlow.

В SDN-сетях с управлением in-band, где протокол OpenFlow становится принципиально сетевым, на момент начального пуска ни управляемая SDN-сеть, ни управляющая OpenFlow-сеть не функциональны, поэтому у SDN-контроллера нет связи с узлами сети и возможности загрузить в них таблицы потоков. Следовательно, для начального пуска SDN-сетей с управлением in-band необходимы специальные средства и решения, выходящие за рамки не только протокола OpenFlow, но и вообще всей концепции SDN.

В качестве таковых решений мировая практика на сегодняшний день предлагает только имеющиеся и хорошо отработанные возможности традиционных IP-сетей [7–9]. (Не исключено, что именно эта практика заставила авторов OpenFlow в конечном счете ввести в стандарт обязательную поддержку узлами сети стека TCP/IP.) Типичный пример процедуры начального пуска SDN-сети с управлением in-band, претендующий на универсальность и быстрый результат в отношении любых сетевых топологий, может быть выполнен в три этапа [8]:

- (1) назначение идентификаторов соединений SDN-контроллера с узлами сети;
- (2) установление соединений между SDN-контроллером и узлами сети на транспортном уровне;
- (3) инициирование узлами сети OpenFlow-сеансов с SDN-контроллером.

В число назначаемых идентификаторов соединений входят как минимум IP-адреса SDN-контроллера и локальных портов узлов сети, также могут включаться параметры канального (MAC-адрес) и транспортного (рабочий протокол и номер порта) уровней. На первом этапе задействуются протоколы динамической конфигурации хоста (dynamic host configuration protocol, DHCP) и разрешения адресов (address resolution protocol). Первый позволяет назначить локальным портам узлов сети уникальные IP-адреса и определить параметры соединения с SDN-контроллером, второй необходим для получения узлами сети MAC-адреса контроллера. Использование протокола DHCP предполагает, что в сети имеется DHCP-сервер, а все ее узлы выступают в качестве DHCP-клиентов. После установления соединения на транспортном уровне узлы сети иницируют OpenFlow-сеансы с SDN-контроллером. Вслед за инициированием таких сеансов всеми узлами сети процедура ее начального пуска продолжается средствами протокола OpenFlow.

В другом примере начального пуска SDN-сети, управляемой in-band множеством SDN-контроллеров [10], для установления соединения с ближайшим из них узел использует виртуальные IP-адреса «кому угодно» (virtual anycast addresses), что предполагает в узлах сети маршрутизаторы с поддержкой динамической маршрутизации, например протоколом граничного шлюза (border gateway protocol).

Из приведенных примеров видно, что SDN-сеть, управляемая in-band, для обретения способности к начальному пуску обязана быть, по существу, традиционной IP-сетью, в которой наложенная OpenFlow-сеть развертывается на сеансовом уровне поверх некоего транспортного протокола, в типичном случае обеспечивающего сетевую безопасность (transport layer security, TLS). Также возможно привлечение протоколов динамической маршрутизации. Поэтому неудивительно, что в узлах такого рода SDN-сетей вместо концептуально простых OpenFlow-коммутаторов на практике оказываются традиционные полновесные маршрутизаторы, да еще дополнительно обремененные поддержкой не только OpenFlow, но и HDSP-клиента.

4 Удаленное конфигурирование SDN-сети

Помимо протокола централизованного управления OpenFlow ONF предлагает для SDN-сетей также стандарт для удаленного конфигурирования OpenFlow-коммутаторов (OpenFlow configuration, OF-CONFIG) [11].

В отличие от протокола OpenFlow, который функционирует в процессе работы SDN-сети, OF-CONFIG предполагается использовать только во время ее конфигурирования, включая начальный пуск. Если протокол OpenFlow регламентирует взаимодействие между SDN-контроллером и OpenFlow-коммутаторами, то протокол OF-CONFIG — между коммутаторами и неким пунктом конфигурации OpenFlow (OpenFlow configuration point), который в самом стандарте никак не специфицирован. Оговаривается только, что в общем случае он не совпадает с SDN-контроллером и даже может иметь иное административное подчинение (например, располагаться в сети провайдера). Взаимодействие пункта конфигурации с SDN-контроллером отдано на откуп протоколам сетевого менеджмента.

В стандарте OF-CONFIG узлы конфигурируемой OpenFlow-сети именуется «коммутаторами» (switches). Однако для этих «коммутаторов» помимо подразумеваемой по умолчанию поддержки OpenFlow также постулирована как обязательная способность самостоятельно устанавливать соединение на транспортном уровне как с SDN-контроллерами, так и с пунктами конфигурации. При этом в качестве транспортных протоколов допускаются протоколы TLS, SSH (secure shell) и BEEP (blocks extensible exchange protocol). Предусматриваемый для этой процедуры минимальный набор параметров — IP-адреса, транспортный протокол и номера портов — вновь неявно подразумевает в узлах сети вовсе не концептуальные простенькие OpenFlow-коммутаторы, а фактически полнофункциональные маршрутизаторы.

Кроме того, для работы с протоколом OF-CONFIG конфигурируемый OpenFlow-коммутатор обязан поддерживать протокол конфигурирования сети NETCONF. Таким образом, OF-CONFIG тянет за собой изрядную протокольную нагрузку и тоже подразумевает в плоскости данных конфигурируемой им SDN-сети полноценную IP-сеть, в которой для прочно занявших места в ее узлах маршрутизаторов OpenFlow-коммутация оказывается лишь небольшим функциональным приложением к их традиционным возможностям.

SDN-сеть, будучи однажды запущена в работу, теоретически могла бы функционировать, используя только эти OpenFlow-приложения. Но начальный пуск SDN-сети и ее удаленное конфигурирование невозможны без массы прочего маршрутизирующего оборудования плоскости данных, которое в дальнейшем может спокойно простаивать. Оправдывая необходимость потенциально простаивающего оборудования, авторы протокола OpenFlow допустили в контролируемых им узлах возможность «традиционной» коммутации и маршрутизации как одну из опций.

Вряд ли складывающееся положение дел нравится теоретикам и адептам SDN. Зато оно, наверняка, устраивает поставщиков традиционного сетевого оборудования, таких как Cisco Systems или Uniper Networks, чей бизнес, вопреки недавним опасениям и благодаря складывающейся практике развертывания, начального пуска и удаленного конфигурирования SDN-сетей, не только не пострадал, но и получил новые стимулы.

5 Заключение

Стала расхожей фраза: «Концепция SDN родилась в лаборатории, а созрела в датацентрах». Действительно, идея SDN прошла апробацию в лабораторных экспериментах и породила надежды на некую революцию в способах развертывания сетей и управления ими: «...современные сети, основанные на стеке IP/TCP, не отвечают растущим требованиям по скорости ввода в эксплуатацию и скорости внесения изменений в конфигурацию сети. Появление программно конфигурируемых сетей должно изменить положение вещей» [12]. Увы, все оказалось не так просто.

Трудности, которые всплыли за стенами лабораторий и поначалу выглядели болезнями роста, не удалось преодолеть ни в аппаратном, ни в программном аспекте. Уход от традиционных IP-сетей и замена дорогих проприетарных многофункциональных сетевых устройств унифицированными дешевыми OpenFlow-коммутаторами так и осталась прекрасной, но неосуществимой мечтой, а создание прикладного ПО SDN-контроллеров по-прежнему остается недоступным основной массе владельцев сетей [13].

Интерес к SDN-сетям не растет уже много лет [14]. Однако мода на них еще жива, и проблемы владельцев сетей не мешают эту моду активно эксплуатировать производителям разнообразного сетевого оборудования, которые получили возможность сбывать залежавшийся товар под маркой самых современных SDN-продуктов, всего лишь добавив к функциональным возможностям, накопившимся в них за многие годы эволюции сетей, еще один небольшой «довесок»: поддержку протокола OpenFlow. И вряд ли такое положение дел стало результатом случайного везения для фирм, давно диктующих моду и определяющих тренды сетевого рынка.

Литература

1. Барсков А. SDN: кому и зачем это надо? // Ж. сетевых решений/LAN, 2012. № 12. Ст. 13033012. <https://www.osp.ru/lan/2012/12/13033012>.
2. Егоров В. Б. Практичное определение «программно определяемого» // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 2. С. 85–94.
3. Foukas X., Marina M. K., Kontovasilis K. Software defined networking concept // *Software Defined Mobile Networks (SDMN): Beyond LTE network architecture*. —

- Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Ltd., 2015. P. 21–44. doi: 10.1002/9781118900253.CH3.
4. *Егоров В. Б.* Некоторые вопросы практической реализации концепции SDN // Системы и средства информатики, 2016. Т. 26. № 1. С. 109–120.
 5. OpenFlow switch specification: Version 1.3.5: March 26, 2015: ONF TS–023. — Open Networking Foundation, 2015. 177 p. <https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2014/10/openflow-switch-v1.3.5.pdf>.
 6. *Jalili A., Nazari H., Namvarasl S., Keshtgari M.* A comprehensive analysis on control plane deployment in SDN: In-band versus out-of-band solutions // 4th Conference International) on Knowledge-Based Engineering and Innovation. — Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2017. P. 1025–1031. doi: 10.1109/KBEI.2017.8324949.
 7. *Sakic E., Avdic M., Van Bemten A., Kellerer W.* Automated bootstrapping of a fault-resilient in-band control plane // Symposium on SDN Research Proceedings. — New York, NY, USA: ACM, 2020. P. 1–13.
 8. *Sharma S., Staessens D., Colle D., Pickavet M., Demeester P.* Automatic bootstrapping of OpenFlow networks // 19th IEEE Workshop on Local & Metropolitan Area Networks Proceedings. — Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2013. Art. 6528283. 6 p. doi: 10.1109/LANMAN.2013.6528283.
 9. *Lopez-Pajares D., Alvarez-Horcajo J., Rojas E., Asadujjaman A. S. M., Martinez-Yelmo I.* Amaru: Plug&play resilient in-band control for SDN // IEEE Access, 2019. Vol. 7. P. 123202–123218.
 10. *Canini M., Salem I., Schiff L., Schiller E. M., Schmid S.* A self-organizing distributed and in-band SDN control plane // 37th IEEE Conference (International) on Distributed Computing Systems Proceedings. — Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2017. P. 2656–2657.
 11. OF-CONFIG 1.2. OpenFlow Management and Configuration Protocol: ONF TS–016. — Open Networking Foundation, 2014. 44 p. <https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2013/02/of-config-1.2.pdf>.
 12. *Логинов С. С.* Об уровнях управления в программно-конфигурируемой сети (SDN) // Т-Сomm: Телекоммуникации и транспорт, 2017. Т. 11. № 3. С. 50–55.
 13. *Егоров В. Б.* Некоторые вопросы программного определения центров обработки данных // Системы и средства информатики, 2020. Т. 30. № 2. С. 105–114.
 14. *Сушков А.* SDN & NFV и при чем тут облака // Хабр, 2016. <https://habr.com/ru/company/billing/blog/316324/>.

Поступила в редакцию 18.08.21

INTERRELATION BETWEEN THE SOFTWARE-DEFINED AND CONVENTIONAL IP-NETWORKS

V. B. Egorov

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

Abstract: Software-defined networking (SDN) is a centralized network control concept that postulates concentration of all control plane functions in a logically single programmatic network controller, simplification of data plane nodes to primitive switches, and a unified protocol, OpenFlow, particularly, of interaction between them and the controller. The SDN idea was born and initially implemented within academic laboratories. However, its expansion to data centers and, subsequently, to provider networks revealed a number of weak spots. The network bootstrapping and remote configuring were among them since these procedures cannot be accomplished using solely the OpenFlow means and do not fit into the original SDN framework. The SDN networks deployment practice showed the impracticability of the refusal from the TCP/IP protocol stack which remains indispensable, in particular, for SDN network bootstrapping and remote configuring. As a result, in the reality, we observe the SDN network nodes as some traditional full-fledged routers, only augmented with the supplementary OpenFlow functionality, instead of the conceptual simple pure OpenFlow switches, while the SDN networks themselves remain trivial IP networks with the centralized control being not full-sufficient and provided as an optional supplement.

Keywords: bootstrapping; software-defined networking; remote network configuring; OF-CONFIG; OpenFlow

DOI: 10.14357/08696527220107

References

1. Barskov, A. 2012. SDN: komu i zachem eto nado? [SDN: Whom and what for is it necessary?]. *Zh. setevykh resheniy/LAN* [Network Solutions Journal/LAN] 12:13033012. Available at: <https://www.osp.ru/lan/2012/12/13033012> (accessed February 11, 2022).
2. Egorov, V. B. 2019. Praktichnoe opredelenie “programmno opredelyaemogo” [A practical definition of “software-defined”]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(2):85–94.
3. Foukas, X., M. K. Marina, and K. Kontovasilis. 2015. Software-defined networking concept. *Software Defined Mobile Networks (SDMN): Beyond LTE network architecture*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Ltd. 21–44. doi: 10.1002/9781118900253.CH3.
4. 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.

5. OpenFlow switch specification: Version 1.3.5. ONF TS 023. 2015. Open Networking Foundation. 177 p. Available at: <https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2014/10/openflow-switch-v1.3.5.pdf> (accessed February 11, 2022).
6. Jalili, A., H. Nazari, S. Namvarasl, and M. Keshtgari. 2017. A comprehensive analysis on control plane deployment in SDN: In-band versus out-of-band solutions. *4th Conference (International) on Knowledge-Based Engineering and Innovation Proceedings*. Piscataway, NJ: IEEE. 1025–1031. doi: 10.1109/KBEI.2017.8324949.
7. Sakic, E., M. Avdic, A. Van Bempten, and W. Kellerer. 2020. Automated bootstrapping of a fault-resilient in-band control plane. *Symposium on SDN Research Proceedings*. New York, NY: ACM. 1–13.
8. Sharma, S., D. Staessens, D. Colle, M. Pickavet, and P. Demeester. 2013. Automatic boot-strapping of OpenFlow networks. *19th IEEE Workshop on Local & Metropolitan Area Networks Proceedings*. Piscataway, NJ: IEEE. 6528283. 6 p. doi: 10.1109/LANMAN.2013.6528283.
9. Lopez-Pajares, D., J. Alvarez-Horcajo, E. Rojas, A. S. M. Asadujjaman, and I. Martinez-Yelmo. 2019. Amaru: Plug&play resilient in-band control for SDN. *IEEE Access* 7:123202–123218.
10. Canini, M., I. Salem, L. Schiff, E. M. Schiller, and S. Schmid. 2017. A self-organizing distributed and in-band SDN control plane. *37th IEEE Conference (International) on Distributed Computing Systems Proceedings*. Piscataway, NJ: IEEE. 2656–2657.
11. OF-CONFIG 1.2. OpenFlow Management and Configuration Protocol: ONF TS-016. Open Networking Foundation. 44 p. Available at: <https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2013/02/of-config-1.2.pdf> (accessed February 11, 2022).
12. Loginov, S. 2017. Ob urovnyakh upravleniya v programmno-konfiguriruemoy seti (SDN) [About the control planes in the software-defined networking]. *T-Comm: Telekommunikatsii i transport* [T-Comm] 11(3):50–55.
13. Egorov, V. B. 2017. Nekotorye voprosy programmного opredeleniya tsentrov obrabotki dannykh [Some issues of software-defined data centers]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 30(2):105–114.
14. Sushkov, A. 2016. SDN & NFV i pri chem tut oblaka [SDN & NFV and what the clouds have to do with them]. *Habr*. Available at: <https://habr.com/ru/company/billing/blog/316324/> (accessed February 11, 2022).

Received August 18, 2021

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

АНАЛИЗ МОНОТОННОГО ТРЕНДА В МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОМ СЛУЧАЕ

*М. П. Кривенко*¹

Аннотация: Рассматривается задача анализа монотонного тренда. Строится оценка максимального правдоподобия параметров распределения, когда условие монотонности формулируется для значений некоторой функции от них. Решение соответствующей задачи получается в виде алгоритма, обобщающего PAV-процедуру (Pool-Adjacent-Violators). В качестве примера рассматривается задача оценивания монотонного тренда отношения математического ожидания к стандарту для последовательности нормально распределенных величин. Получаемая оценка основывается на подсчете числа положительных/отрицательных наблюдаемых значений. Показано, что тестирование тренда в этом случае эквивалентно анализу монотонных изменений вероятности успеха в неоднородной схеме Бернулли. Тем самым вскрывается связь параметрического и непараметрического подходов в анализе нестационарных случайных последовательностей. Примером реальной ситуации, когда возможно применение рассматриваемого подхода, может служить анализ случайной последовательности в преобразованном виде: набор наблюдений делится на группы, для каждой из которых подсчитывается некоторая статистика, результат такого фрагментирования рассматривается как последовательность величин с определенным распределением.

Ключевые слова: монотонный тренд; оценка максимального правдоподобия; PAV-процедура; непараметрическое тестирование тренда

DOI: 10.14357/08696527220108

1 Введение

Большой объем информации в физических, биологических и социальных науках представлен в форме временных рядов, для которых самостоятельный интерес представляет исследование характера зависимости между их элементами. Традиционно при этом выделяют четыре типа развития наблюдаемых процессов во времени, а именно: тренд, цикл, сезонные колебания и нерегулярные колебания.

Тренд соответствует устойчивым и систематическим изменениям в течение рассматриваемого периода времени. Важно, что он доминирует над общей изменчивостью ряда и связан со структурными причинами рассматриваемого явления. Выявление неоднородности всегда представляло серьезную статистическую проблему, при этом сложности носят не столько аналитический характер,

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

сколько концептуальный. Дело в том, что тренд является латентной переменной и, следовательно, необходимо вводить предположения о характере ее поведения.

В большом классе моделей, известных для тренда, можно выделить две основные категории: детерминированные и стохастические. Детерминированные модели основаны на допущении, что тренд может быть точно аппроксимирован заданными математическими функциями времени на всем протяжении ряда. Предполагается, что временной ряд, по которому следует идентифицировать тренд, генерируется нестационарным процессом. Классическим примером служит регрессия, в которой наблюдаемый ряд рассматривается как сумма систематической части (тенденции) и случайной (нерегулярной) части. Второй основной класс моделей основывается на стохастических процессах. При наличии изменений они нестационарны, но, применяя однородный фильтр (обычно разностный), можно получить стационарный процесс. К важным примерам однородных линейных нестационарных процессов можно отнести ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Averages). Подобная систематизация трендов [1] присуща области экономики и бизнеса, она не единственна, но принята в данной работе.

Задача анализа тренда состоит в том, чтобы охарактеризовать и учесть различные источники изменчивости, а также выявить и количественно оценить фактические изменения. Она сводится к двум классическим задачам анализа данных: оценивание характеристик изменений и проверка гипотезы об их наличии. Достаточно часто первая из них не востребована и/или в принципе не может быть удовлетворительно решена в рамках принятой модели. Поэтому доминирует задача обнаружения тренда, которая обычно решается в форме слабого критерия значимости с выдвижением нулевой гипотезы об отсутствии изменений.

Тесты делятся на параметрические, непараметрические и смешанного типа. Соответствующие примеры — это линейная регрессия при анализе зависимости от времени, критерий Манна–Кендалла [2] при анализе зависимости от времени, критерий Манна–Кендалла исследования остатков зависимости от некоторой ковариаты. Параметрические тесты считаются более мощными, чем непараметрические, особенно при относительно небольшом объеме выборки. Однако для них характерна высокая требовательность к выполнению априорных предположений, например о нормальном распределении данных. В этом плане непараметрические тесты демонстрируют большую робастность при отклонениях от базовой модели, они устойчивы к выбросам и пропуску данных.

2 Оценка монотонного тренда

Наиболее простым является одномерный случай, когда наличие монотонного тренда подразумевает упорядоченность отдельных значений исследуемого параметра. Но практика вынуждает рассматривать и более общую статистическую модель. Необходимость в постановке «многомерной» задачи отчетливо видна на примере тех ситуаций, когда однородность данных исследуется по последовательности значений некоторой статистики, посчитанной по ее фрагментам.

В этом случае отклонение от однородности приводит обычно к изменениям на периоде наблюдения ряда характеристик анализируемой случайной последовательности. Априорное же упрощение характера тренда до одномерного может привести в подобных случаях к ощутимому снижению качества принимаемых решений. Повысить размерность исследуемого параметра, сохранив при этом в силе простой характер упорядоченности, можно, если установить связь между отдельными значениями набора параметров ϑ посредством некоторой числовой функции $\rho(\vartheta)$, отображающей параметрическое пространство Θ на некоторое подмножество действительной прямой. Таким образом с помощью известной функции изменения многомерного параметра сводятся к одномерным.

Рассмотрим задачу оценивания монотонного тренда определенного характера с использованием метода максимального правдоподобия, т. е. нахождения для произвольного набора наблюдаемых значений $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_N)$ такого отображения $\vartheta^*(\mathbf{x})$, что

$$\lambda(\vartheta^*(\mathbf{x}), \mathbf{x}) = \sup_{\vartheta \in \Theta_+^N} \lambda(\vartheta, \mathbf{x}).$$

Здесь $\lambda(\vartheta, \mathbf{x})$ — функция правдоподобия, $\Theta_+^N = \{\vartheta = (\vartheta_1, \dots, \vartheta_N) : \rho_{\min} \leq \rho(\vartheta_1) \leq \dots \leq \rho(\vartheta_N) \leq \rho_{\max}\}$, где ρ_{\min} и ρ_{\max} суть заданные значения. Далее ссылку на \mathbf{x} в записи функции правдоподобия или оценки максимального правдоподобия (о. м. п.) будем опускать.

Определяющим для существования и единственности о. м. п. монотонного тренда ϑ^* является поведение фрагмента функции правдоподобия $\lambda_{i,j}(\gamma)$ при $\gamma \in \Gamma_{i,j}$, где

$$\Gamma_{i,j} = \{\gamma = (\gamma_i, \dots, \gamma_j) : \rho_{\min} \leq \rho(\gamma_i) = \dots = \rho(\gamma_j) \leq \rho_{\max}\},$$

$\gamma^*(i, j)$ — соответствующая о. м. п.

Наиболее существенным в этой связи оказывается следующее. Пусть $\rho(\gamma)$ для $\gamma \in \Gamma_{i,j}$ есть такое значение ρ_0 , что $\rho(\gamma_i) = \dots = \rho(\gamma_j) = \rho_0$. Тогда если при любых таких i, j, k , что $1 \leq i \leq j \leq k \leq N$, имеет место $\rho(\gamma^*(i, k)) = \rho(\gamma^*(j + 1, k))$, то должна присутствовать строгая монотонность «слева», т. е. для такой произвольной точки γ , что $\gamma \in \Gamma_{i,j}$, $\gamma \neq \gamma^*(i, j)$ и $\rho(\gamma) < \rho(\gamma^*(i, j))$, и такого произвольного числа ρ_0 , что $\rho(\gamma) < \rho_0 < \rho(\gamma^*(i, j))$, должно выполняться неравенство $\lambda_{i,j}(\gamma) < \lambda_{i,j}(\gamma(\rho_0))$. Аналогичное свойство строгой монотонности «справа» должно выполняться, если возникнет $\rho(\gamma^*(i, k)) = \rho(\gamma^*(i, j))$. Здесь $\gamma(\rho_0)$ для некоторого значения ρ_0 означает такую точку из $\Gamma_{i,j}$, что $\rho(\gamma(\rho_0)) = \rho_0$.

Для множества точек параметрического пространства, соответствующего разбиению $d = (d_1, \dots, d_{l+1})$ последовательности на l фрагментов с одинаковыми значениями функции $\rho(\vartheta)$, примем обозначение:

$$\Gamma_d = \Gamma_{d_1, d_2-1} \otimes \dots \otimes \Gamma_{d_l, d_{l+1}-1},$$

где $1 = d_1 < \dots < d_{l+1} = N + 1$.

Тогда автором работы доказана

Теорема. *Единственная о. м. п. монотонного тренда существует и может быть найдена с помощью алгоритма:*

- (1) положить $d = (1, 2, \dots, N + 1)$;
- (2) найти решение $\gamma^*(d) = \arg \max_{\vartheta \in \Gamma_d} \lambda(\vartheta)$;
- (3) завершить работу алгоритма, если $\gamma^*(d) \in \Theta_+^N$, приравняв искомое решение ϑ^* полученному $\gamma^*(d)$;
- (4) построить новое значение набора d , исключив из него любой такой элемент d_i , что $\rho(\gamma_{d_i-1}^*(d)) > \rho(\gamma_{d_i}^*(d))$ (объединить в группы те соседние элементы последовательности, для которых оценки параметров не удовлетворяют требуемым ограничениям), перейти к выполнению шага (2).

Из этого результата вытекает важное, в первую очередь с алгоритмической точки зрения, следствие. При произвольном разбиении последовательности на k фрагментов о. м. п. монотонного тренда может быть найдена в два этапа: найти оценки для каждого фрагмента в отдельности, что даст совокупность разбиений $d^{(1)}, d^{(2)}, \dots, d^{(k)}$, а затем найти оценку ϑ^* , начиная с разбиения $d = (d_1^{(1)}, d_2^{(1)}, \dots, d_1^{(2)}, d_2^{(2)}, \dots, d_1^{(k)}, d_2^{(k)}, \dots)$. Наиболее эффективным алгоритмом обработки данных оказался последовательный, он заключается в добавлении нового наблюдения с последующей коррекцией уже построенной оценки.

Полученный результат обобщает идеи PAV-процедуры, устраняющей неверные неравенства: если обозначить через $\mu^*(s, t)$ о. м. п. параметра распределения при отсутствии изменений, построенную по наблюдениям x_s, \dots, x_t , $1 \leq s \leq t \leq N$, то основной шаг PAV-процедуры заключается в объединении соседних групп наблюдений, которые дают оценки $\mu^*(s, j)$ и $\mu^*(j + 1, t)$, не удовлетворяющие требуемым условиям.

В качестве приложения полученного результата рассмотрим задачу оценивания тренда отношения среднего μ к стандартному отклонению σ (стандарту) для последовательности независимых нормально распределенных случайных величин. Сначала приведем примеры реальных ситуаций с выборками большого объема, которые повлекли за собой подобную постановку задачи. Рассмотрим анализ двоичной последовательности в преобразованном виде: двоичные знаки суммируются в непересекающихся соседних группах, объем каждой из которых равен k . Результат такого фрагментирования можно приближенно рассматривать как последовательность нормально распределенных случайных величин со средним $\mu = kp$ и стандартом $\sigma = \sqrt{kp(1-p)}$, где p — вероятность появления единицы. Для исследования влияния изменения p на отношение смещенного среднего к стандарту найдем производную функции $\varphi(p) = (\mu(p) - ka)/\sigma(p)$, после чего станет ясно, что тренд вероятности p приводит к изменениям того же характера и в анализируемом отношении. Смысл смещения с помощью a станет ясен позже.

Во втором примере речь пойдет об анализе значений статистики χ^2 при сравнении эмпирических частот попадания n наблюдений фрагмента выборки в одну из m категорий с теоретическими частотами f_j , $j = 1, \dots, m$. Принимая во внимание предположение об отклонении от нулевой гипотезы в форме нецентрального χ^2 -распределения, получаем, что отношение смещенного среднего μ к стандарту σ принимает вид:

$$\frac{\mu - a}{\sigma} = \frac{m - 1 + \lambda^2 - a}{\sqrt{2(m - 1 + 2\lambda^2)}}.$$

После дифференцирования сразу же получаем, что при $\lambda^2 + a > 0$ монотонный тренд параметра нецентральности λ^2 влечет за собой аналогичные изменения и для $(\mu - a)/\sigma$.

Вернемся к случаю нормального распределения и задаче нахождения о. м. п. параметров (μ^*, σ^*) при ограничениях

$$\Theta_+^N(\mu, \sigma) = \left\{ (\mu, \sigma) : \gamma_{\min} \leq \frac{\mu_1}{\sigma_1} \leq \dots \leq \frac{\mu_N}{\sigma_N} \leq \gamma_{\max}, \sigma_i > 0 \text{ для } i = 1, \dots, N \right\},$$

где γ_{\min} и γ_{\max} — заданные значения. Учитывая, что вероятность появления нулевых выборочных значений равна нулю, далее будем считать, что $x_i \neq 0$ для любых допустимых i .

Условия теоремы проверяются путем анализа при любом допустимом j свойств функции

$$\varphi(\gamma, \xi) = \sum_{i=1}^j \left[\ln \xi_i - \frac{(\xi_i x_i - \gamma)^2}{2} \right],$$

определенной на выпуклом множестве $\{(\gamma, \xi_1, \dots, \xi_j) : \gamma_{\min} \leq \gamma \leq \gamma_{\max}, \xi_i > 0 \text{ для } i = 1, \dots, j\}$. Если \mathbf{A} — соответствующая матрица Гессе, а \mathbf{B} — матрица невырожденного линейного преобразования вида

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \frac{x_1}{z_1} & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \frac{x_2}{z_2} & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{x_j}{z_j} & 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix},$$

где $z_i = 1/\xi_i^2 + x_i^2$ для $i = 1, \dots, j$, то получаем: квадратичная форма, отвечающая как матрице $\mathbf{B}^T \mathbf{A} \mathbf{B}$, так и \mathbf{A} , отрицательно определенная, т. е. второй

дифференциал — отрицательно определенная квадратичная форма. Следовательно, функция $\varphi(\gamma, \xi)$ является выпуклой вверх. Тогда, обозначив через k число положительных значений x_i , из необходимого условия существования экстремума $\varphi(\gamma, \xi)$ при $k \neq 0, j$ сразу же получаем единственные решения:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{\gamma} &= \frac{2k - j}{\sqrt{k(j - k)}}; \\ \tilde{\xi}_i(\tilde{\gamma}) &= \begin{cases} \frac{\tilde{\gamma} + \sqrt{\tilde{\gamma}^2 + 4}}{2x_i}, & x_i > 0; \\ \frac{\tilde{\gamma} - \sqrt{\tilde{\gamma}^2 + 4}}{2x_i}, & x_i < 0. \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Рассмотрим итоговую оценку вида

$$\gamma^* = \begin{cases} \gamma_{\min}, & k = 0; \\ \min \{ \gamma_{\max}, \max \{ \gamma_{\min}, \tilde{\gamma} \} \}, & k \in \{1, \dots, j - 1\}; \\ \gamma_{\max}, & k = j. \end{cases}$$

Если $k \in \{1, \dots, j - 1\}$ и $\tilde{\gamma} \in (\gamma_{\min}, \gamma_{\max})$, то точка $(\gamma^*, \xi(\gamma^*))$ — внутренняя и, следовательно, является единственной точкой максимума $\varphi(\gamma, \xi)$.

Во всех остальных случаях экстремум достигается на границе.

При $k = 0$ (все $x_i < 0$) получаем:

$$\left. \frac{\partial \varphi(\gamma, \xi)}{\partial \gamma} \right|_{\xi(\gamma)} = j \left(\frac{\gamma - \sqrt{\gamma^2 + 4}}{2} - \gamma \right) = \frac{j}{2} (-\gamma - \sqrt{\gamma^2 + 4}) < 0,$$

что означает, что $\varphi(\gamma, \xi(\gamma))$ — убывающая функция, принимающая при ограниченных значениях γ максимальное значение при $\gamma = \gamma_{\min}$. Аналогично при $k = j$ (все $x_i > 0$) выходит, что максимум достигается при $\gamma = \gamma_{\max}$.

Если $k \in \{1, \dots, j - 1\}$ и $\tilde{\gamma} \notin (\gamma_{\min}, \gamma_{\max})$, то функция $\psi(\gamma) = -j\gamma + (2k - j)\sqrt{\gamma^2 + 4}$ убывающая с нулевым значением при $\tilde{\gamma}$. Следовательно, $\varphi(\gamma, \xi(\gamma))$ — унимодальная функция со строго монотонным поведением вне точки экстремума $\tilde{\gamma}$. Отсюда следует, что ее максимум при условии $\tilde{\gamma} \notin (\gamma_{\min}, \gamma_{\max})$ достигается при γ_{\min} , если $\tilde{\gamma} < \gamma_{\min}$, и при γ_{\max} , если $\tilde{\gamma} > \gamma_{\max}$.

В результате для случая нормального распределения данных становится возможным найти о. м. п. монотонного тренда отношения среднего к стандарту; при этом устранение неверных соотношений будет осуществляться по отношению к отдельным значениям γ_i^* . В принципе, (1) можно дополнить формулами для μ_i^* , но вряд ли они имеют практический смысл.

3 Эквивалентность оценок

Обратим внимание на поведение функции

$$\psi(u) = \frac{2u - 1}{\sqrt{u(1 - u)}},$$

которая монотонно возрастает при $u \in (0, 1)$. Значит, сравнение отдельных значений

$$\gamma^* = \frac{2k/j - 1}{\sqrt{(k/j)(1 - k/j)}},$$

найденных для j наблюдений, среди которых k положительных, эквивалентно сравнению отдельных значений k/j . Величина k/j есть не что иное, как о. м. п. вероятности появления положительного значения среди j наблюдений или вероятности, например, успеха для последовательности испытаний Бернулли. Выявленная связь исходной задачи с анализом тренда вероятности успеха требует уточнения в случае, когда $k = 0, j$ или $(2k - j)/\sqrt{k(j - k)} \notin [\gamma_{\min}, \gamma_{\max}]$ при $k \neq 0, j$.

Заметим, что ограничения $\gamma_{\min}, \gamma_{\max}$ необходимы для существования точки максимума. Положим эти ограничения достаточно большими по абсолютной величине, например: $-\gamma_{\min}, \gamma_{\max} = N$. Тогда при $k \in \{1, \dots, j - 1\}$ получаем, что $(2k - 1)/\sqrt{k(j - k)} \in (\gamma_{\min}, \gamma_{\max})$. В этом случае о. м. п. монотонного тренда отношения среднего к стандарту может быть получена простым поэлементным преобразованием о. м. п. монотонного тренда вероятности успеха для неоднородных испытаний Бернулли.

Осталось уточнить ситуации, когда $x_i = 0$ и когда для выборки из j наблюдений $k = 0$ или j . Первая из них имеет нулевую вероятность появления и не принимается во внимание. Если $k = 0$ или j при $j < N$, то решение задачи оценивания становится возможным за счет априорного ограничения допустимых значений γ ; если же все N наблюдений отрицательны или положительны, то теряется практический смысл полученной оценки. Но достаточно начать рассматривать выборочные значения относительно некоторого априорно заданного уровня, как все встает на свои места. При этом определенный произвол при смещении наблюдений компенсируется возможностью обоснованно делать выводы относительно исследуемой последовательности.

Интересно отметить, что эквивалентность критериев обнаружения монотонного тренда некоторой функции от двух параметров и вероятности успеха в неоднородной последовательности испытаний Бернулли сначала была выявлена эмпирически: с помощью двух критериев контролировалась выходная двоичная последовательность датчика случайных чисел после ее фрагментирования. Один критерий основывался на совместном анализе первых двух выборочных моментов, а второй сводился к обычной непараметрической знаковой процедуре. В ходе

обработки больших объемов данных оказалось, что выводы типа «принял/отклонил нулевую гипотезу» просто повторялись. И только потом с помощью свойства монотонности функции $\psi(u)$ была обоснована неслучайность этих совпадений.

4 Эксперименты

В качестве иллюстрации полученных результатов рассмотрим три варианта модели тренда, для которых продемонстрируем эффективность отдельных статистических тестов их обнаружения. Обработываемые синтетические данные генерировались из нормального распределения в соответствии с закономерностями изменений моментов. В качестве базовых рассматривались линейные тренды, которые задавались через начальное и конечное значения.

Параметры моделей и способов обработки данных подбирались так, чтобы имелась возможность обоснованно продемонстрировать эффективность применяемых подходов, выявить возникающие проблемы.

Рассматривались следующие варианты данных:

- C_1^\pm , тренды среднего и отношения среднего к стандарту. Задаются соответственно $\mu_i = 0,25, \dots, 0,5/0,5, \dots, 0,25$ и $\gamma_i = 0,2, \dots, 2,0$, по которым вычислялись $\sigma_i = \mu_i/\gamma_i$, здесь и далее $i = 1, \dots, 100$;
- C_2 , тренд вероятности 1 в двоичной последовательности. Задаются $p_i = 0,46, \dots, 0,54$, по которым вычисляются $\mu_i = kp_i$ и $s_i^2 = kp_i(1 - p_i)$ при $k = 50$;
- C_3 , тренд суммарного квадратичного отклонения d_i частот от равновероятной схемы. Задаются $d_i = 0, \dots, 0,0035$, по которым вычисляются значения параметра нецентральности $\lambda_i^2 = mnd_i$, а затем $\mu_i = m - 1 + \lambda_i^2$ и $s_i^2 = 4\lambda_i^2 + 2M - 2$ при $m = 16$ и $n = 160$.

Если нулевая гипотеза предполагает отсутствие тренда, то конкурирующая H_1 означает возрастающий тренд отношения среднего к стандарту. В качестве процедур выявления неоднородности данных рассматривались следующие:

Тест T_1 . Применение для анализа монотонного тренда знаковой статистики Манна–Кендалла.

Тест T_2 . Анализ изменений только среднего исходной последовательности с помощью статистики отношения правдоподобия $\bar{\epsilon}^2$ (вопросы его применения рассмотрены в [3]).

Тест T_3 . Переход к двоичной последовательности в рамках анализа отношения среднего к стандарту и использование статистики отношения правдоподобия LR_{bin} для обнаружения монотонного тренда вероятности появления 1.

Применение последнего теста требует пояснений. Во-первых, при вычислении правдоподобия $\lambda(p_i, x_i)$ при заданной вероятности p_i и наблюдаемом значении x_i действует очевидная таблица значений

x_i	p_i		
	0	(0,1)	1
0	1	$1 - p_i$	0
1	0	p_i	1

Вспомнив, что p_i — оценка по данным, включающим, в частности, x_i , получаем, что нулевые значения $\lambda(p_i, x_i)$ встречаться не могут и проблем при вычислениях не возникнет. Второе пояснение касается оценивания мощности критерия, для чего необходимо знать распределение LR_{bin} при нулевой гипотезе. В отличие от T_1 и T_2 , оно неизвестно, поэтому приходится прибегать к методу моделирования. Но здесь возникает проблема зависимости указанного распределения от теоретического значения вероятности p_0 появления 1, так, по крайней мере, показывают результаты моделирования. Эта зависимость незначительна и зримо проявляется при p_0 , близких к 0 или 1. Но в любом случае ее необходимо учитывать и получать оценки требуемых квантилей в зависимости от значений p_0 .

При проверке гипотез фиксировался уровень значимости в 10%, число экспериментов при получении оценок вероятностей $N_{\text{exp}} = 10^6$. В результате моделирования получены следующие результаты.

Оценки мощности для 1-го варианта изменений и теста T_3 $\Pr\{H_1|C_1^\pm, T_3\} = 95\%$, они демонстрируют достоинства анализа тренда отношения среднего к стандарту. Попытка использовать T_1 и T_2 для этой цели дает более слабые результаты: $\Pr\{H_1|C_1^+, T_1\} = 62\%$, $\Pr\{H_1|C_1^+, T_2\} = 57\%$ и $\Pr\{H_1|C_1^-, T_1\} = 56\%$, $\Pr\{H_1|C_1^-, T_2\} = 52\%$. Крайне неудовлетворительный итог применения этих тестов понятен, поскольку для рассматриваемых данных нет стохастической упорядоченности.

Анализ данных C_2 привел к следующим результатам: $\Pr\{H_1|C_2, T_1\} = 97\%$; $\Pr\{H_1|C_2, T_2\} = 94\%$; $\Pr\{H_1|C_2, T_3\} = 84\%$. Видно, что тесты T_1 и T_2 , ориентированные, соответственно, на более простые модели стохастической упорядоченности (отсутствие которой для C_2 не выявлено) и монотонной упорядоченности только среднего (изменение среднего равно 3,96 при несущественных изменениях стандарта, а отношения среднего к стандарту — 1,12), выигрывают по сравнению с T_3 . Но последний продолжает уверенно указывать на наличие изменений.

Похожее поведение демонстрируют тесты и для C_3 : $\Pr\{H_1|C_3, T_1\} = 99\%$; $\Pr\{H_1|C_3, T_2\} = 98\%$; $\Pr\{H_1|C_3, T_3\} = 78\%$. Причины остаются, по-видимому, прежними: хотя стохастическая упорядоченность отсутствует, но суммарное изменение среднего существенно и равно 8,96, а вот отношение среднего к стандарту не столь велико — только 0,21.

Относительно вариантов C_2 и C_3 необходимо добавить: если все более отклоняться от нулевой гипотезы и увеличивать объем выборки при указанных выше значениях базовых параметров модели, то по всем трем тестам практически сразу будут достигаться 100%-ные значения мощности.

В случае C_2 и C_3 статистический вывод можно пытаться строить на основе единственного параметра — это p или d соответственно. Но для этого понадобится перепроверить выполнение условий теоремы существования о. м. п. монотонного тренда и, в частности, определиться с оценением рассматриваемых параметров. Здесь в первую очередь возникают проблемы в ходе реализации принципа максимального правдоподобия при ограничениях на значения параметров. Но этот подход крайне интересен, так как дает надежду на повышение эффективности процедур выявления тренда.

5 Заключение

Судя по результатам для нормального распределения, выборочные свойства PAV-ориентированных оценок монотонного тренда малопрактичны: для частичной упорядоченности точек параметрического пространства и функции риска общего вида о. м. п. монотонного тренда является недопустимой, оценки характеристик крайних ступенек не являются состоятельными. Достоинства же рассматриваемого подхода проявляются при необходимости обнаружения изменений в анализируемых последовательностях данных: при отсутствии априорной информации, уточняющей характер изменений, целесообразно использовать именно процедуры, основывающиеся на о. м. п. монотонного тренда как обеспечивающие стабильно небольшие потери.

Тесты для анализа тренда, и в особенности непараметрические, сложны с вычислительной точки зрения и в большинстве случаев непрактичны для применения вручную. К сожалению, пакеты программ статистической обработки, включающие непараметрические процедуры, встречаются реже, чем те, которые реализуют простейшие параметрические тесты (см., например, [4]). Следует отметить, что PAV-ориентированные процедуры в перечисленных источниках не обнаружены.

Литература

1. *Dagum C., Dagum E. B.* Trend // Encyclopedia of statistical sciences. — 2nd ed. — Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2006. Vol. 14. P. 8726–8729.
2. *Hettmansperger T. P.* Mann's test for trend // Encyclopedia of statistical sciences. — 2nd ed. — Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2006. Vol. 7. P. 4475.
3. *Кривенко М. П.* Распределение статистики отношения правдоподобия для выявления монотонного тренда // Системы и средства информатики, 2021. Т. 31. № 4. С. 27–37.
4. *Meals D. W., Spooner J., Dressing S. A., Harcum J. B.* Statistical analysis for monotonic trends. — Fairfax, VA, USA: U.S. Environmental Protection Agency by Tetra Tech, Inc., 2011. 23 p.

Поступила в редакцию 27.12.21

ANALYSIS OF A MONOTONE TREND IN A MULTIPARAMETER CASE

M. P. Krivenko

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

Abstract: The problem of analyzing a monotone trend is considered. An estimate of the maximum likelihood of distribution parameters is built when the monotonicity condition is formulated for the values of some function from them. The solution of the corresponding problem is obtained in the form of an algorithm which generalizes the PAV (Pool-Adjacent-Violators) procedure. As an example, the problem of estimating the monotone trend of the ratio of mathematical expectation to the standard for a sequence of normally distributed quantities is considered. The resulting estimate is based on a count of the number of positive/negative values observed. It is shown that trend testing in this case is equivalent to the analysis of monotone changes in the probability of success in a heterogeneous Bernoulli scheme. Thus, the connection between the parametric and nonparametric approaches in the analysis of nonstationary random sequences is revealed. An example of a real situation when it is possible to apply the approach under consideration is the analysis of random sequences in a transformed form: a set of observations is divided into groups, for each of which some statistics are calculated, the result of such fragmentation is considered as a sequence of values with a certain distribution.

Keywords: monotone trend; estimate of the maximum likelihood; PAV-procedure; nonparametric trend testing

DOI: 10.14357/08696527220108

References

1. Dagum, C., and E. B. Dagum. 2006. Trend. *Encyclopedia of statistical sciences*. 2nd ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. 14:8726–8729.
2. Hettmansperger, T. P. 2006. Mann’s test for trend. *Encyclopedia of statistical sciences*. 2nd ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. 7:4475.
3. Krivenko, M. P. 2021. Raspredelenie statistiki otnosheniya pravdopodobiya dlya vyavleniya monotonnogo trenda [Distributions of likelihood ratio statistics for monotone trend detection]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 31(4):27–37.
4. Meals, D. W., J. Spooner, S. A. Dressing, and J. B. Harcum. 2011. *Statistical analysis for monotonic trends*. Fairfax, VA: U.S. Environmental Protection Agency by Tetra Tech, Inc. 23 p.

Received December 27, 2021

Contributor

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

СТРУКТУРНЫЙ ПОДХОД К СВЯЗЫВАНИЮ ЗАПИСЕЙ В ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ КОНКРЕТНО-ИСТОРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

И. М. Адамович¹, О. И. Волков²

Аннотация: Статья посвящена дальнейшему развитию распределенной технологии поддержки конкретно-исторических исследований (ПКИИ), основанной на принципах краудсорсинга и ориентированной на широкий круг не относящихся к профессиональным историкам и биографам пользователей. Развитие осуществляется за счет включения в технологию и их модификации средств автоматизации связывания записей в историческом регистре метода восстановления истории семей, широко используемого в исторической демографии. Модификация заключается в создании надстройки над алгоритмами метода восстановления истории семей, обеспечивающей автоматическое связывание с опорой на сравнение структур графов родственных связей в семье. Приводится описание алгоритма функционирования этой надстройки. Обоснование подхода строится на классификации номинативных исторических документов и на анализе мирового опыта их автоматической обработки в рамках генеалогических и историко-демографических исследований.

Ключевые слова: конкретно-историческое исследование; распределенная технология; связывание записей; номинативный документ; источники семейной структуры

DOI: 10.14357/08696527220109

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), и создан ряд программных средств ее поддержки. В основу технологии положены:

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

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

- (1) система Т-парсер [4], осуществляющая автоматическое извлечение фактов из текстов историко-биографической направленности и решающая задачи фактографического индексирования источников и их семантической разметки (вычленения значимых фрагментов и оснащения их метаданными);
- (2) инструментальный комплекс π -Фактограф [5], ориентированный на поддержку самого исследовательского процесса и решающий задачи формализации, хранения, интеграции, аналитико-синтетической обработки биографических фактов, получаемых из гетерогенных источников.

Специфика биографического исследования состоит в том, что в центре внимания исследователя находится конкретная личность и все без исключения стороны (социальные, экономические, политические, этнические, художественные и т. п.) ее реальной жизни [6]. Соответственно, историко-биографические факты (ИБФ), выявляемые в результате исследования, отличаются большим многообразием как по составу характеристик, так и по связям между ними. Но выявление ИБФ остается очень трудоемким процессом и отнимает у исследователя много сил и времени [7]. Данная статья посвящена описанию подхода к дальнейшей автоматизации данного процесса в рамках технологии ПКИИ.

2 Представление данных в технологии поддержки конкретно-исторических исследований

В [8] предложена иерархическая форма представления факта и показано ее соответствие специфике биографической информации и удобство ее использования для системы Т-парсер. Также было показано принципиальное соответствие данной структуры самому понятию биографического факта. Поэтому модель данных, положенная в основу технологии ПКИИ, опирается на иерархическое представление ИБФ. В совокупности ИБФ образуют семантическую сеть, состоящую из двух подсетей — сети понятий и сети экземпляров.

Узлы сети понятий представляют собой именованные универсальные классы объектов. Единственным обязательным свойством класса является его имя. Из требования распространенности вытекает, что сеть может создаваться независимо разными исследователями, а поэтому она формируется из автономных именованных подсетей. Для «склейки» этих подсетей между собой предусмотрена связь эквивалентности. Помимо нее предусмотрены направленные связи типа «подпонятие», «атрибут» и «значение». Каждая связь может иметь признак условности. Условная связь имеет описание причин условности, т. е. границ ее действия.

Факты задаются значениями экземпляров классов и отношениями между ними. Отношения наследуются из сети классов. Между экземплярами одного класса может быть дополнительно установлена связь эквивалентности. Каждый экземпляр имеет значение (которое может быть пустым).

3 Источники конкретно-исторической информации

В [9] приведены основные источники ИБФ и их классификация. Вся совокупность исторических источников делится по характеру представления данных на три основные группы (I–III): номинативные (содержащие персональную информацию с указанием имени собственного), статистические и нарративные (повествовательные) источники. Номинативные источники разбиты на две подгруппы: источники персональной структуры (подгруппа А) и источники семейной структуры (подгруппа Б). Под источниками персональной структуры понимаются те источники, в которых представлена персона или группа персон в контексте одного демографического факта (рождение, брак, смерть). Источники семейной структуры представляют семью в сборе, или домохозяйство. В таблице приводится схема систематизации исторических источников.

Классификация источников исторической информации

I. Номинативные источники	
А. Персональные источники демографических событий	
	1. Метрические книги (рождение, брак, смерть) — основной источник
	2. Метрические выписки (как правило, о рождении)
	3. Брачные обыски
	4. Венечныя памяти, книги венечного сбора (брак)
Б. Источники семейной структуры (домохозяйства)	
	1. Писцовые, переписные, ландратские книги
	2. Ревизские сказки
	3. Исповедные росписи
	4. Посемейные списки
	5. Переписные листы (в том числе хозяйственных переписей)
	6. Различные списки (налоговые, страховочные без номинативной семейной структуры)
II. Статистические источники	
А. Источники численности населения по видам демографических событий (рождение, брак, смерть)	
	1. Метрические экстракты (ведомости) о родившихся, бракосочетавшихся, умерших
Б. Источники общей численности населения	
	1. Перечневые ведомости (обобщающие данные ревизского учета уездного и губернского уровней)
	2. Окладные книги (обобщающие данные ревизского учета общегосударственного уровня)
	3. Исповедные ведомости (экстракты уездного, губернского и общегосударственного уровней, составленные на основе номинативных исповедных ведомостей)
	4. Ведомости о приходе (структурная часть клировых ведомостей)
III. Нарративные источники	
Раздел наполняют все источники повествовательного характера	

Поскольку в конкретно-историческом исследовании на первый план выдвигаются задачи описательного характера, связанные с подробным воспроизведением последовательности событий и их полноты [10], в технологии ПКИИ статистические источники (раздел II) имеют исключительно вспомогательный характер и используются для иллюстрации специфики хронологических и географических рамок изучаемой темы.

Для обработки большого объема нарративных источников (раздел III) в технологии ПКИИ предусмотрена система Т-парсер, успешно извлекающая конкретно-исторические факты из текстов на естественном языке.

Номинативные источники (раздел I) представляют особый интерес в современном историческом исследовании [11], и опыт реальных конкретно-исторических исследований показывает, что именно поиск документов в архивах и их обработка отнимают большую часть времени исследователя. Для облегчения процесса обработки номинативной информации в технологии ПКИИ предусмотрена система π -Фактограф, обеспечивающая поддержку исследовательского процесса, но процедура поиска соответствий и взаимоувязывания данных остается ручной процедурой. Поэтому автоматизация этого процесса представляется важной задачей.

4 Связывание записей в историческом регистре

Связывание записей (Record Linkage) — классическая проблема в исторической информатике. Когда это делается вручную, историк изучает всю доступную информацию, обращая внимание на место жительства, профессию, происхождение и другие параметры, чтобы решить, соответствуют ли две записи одному и тому же человеку. Воспроизвести это с помощью компьютерной программы не просто [12]. Основные причины кроются в следующих негативных особенностях номинативных исторических источников:

- (1) обилие несоответствий и ошибок в метрических записях;
- (2) отсутствие в метрических книгах прихода фамилий крестьян вплоть до середины 1880-х гг.;
- (3) большая вариативность в написании имен;
- (4) указание в записях возраста с точностью до года;
- (5) нередко встречающиеся искажения возраста, в том числе сознательные;
- (6) частое неупоминание сведений о женщинах;
- (7) частое неупоминание сведений о детях;
- (8) частое смешение детей, рожденных в разных браках, и т. д.

Несмотря на все вышеперечисленные проблемы, задача автоматизированного связывания записей для информации, полученной из номинативных исторических источников, довольно успешно решается в рамках метода восстановления

истории семей (ВИС), используемого в исторической демографии [9]. Данный метод также применим для генеалогического исследования.

В задачах связывания записей используются детерминированные и вероятностные алгоритмы. Детерминированные алгоритмы основаны на полном совпадении атрибутов записей, и, поскольку, как показано выше, данные номинативных исторических источников не являются четко структурированными и стандартизированными, для целей ВИС они применяться практически не могут. Более предпочтительной альтернативой могут служить вероятностные алгоритмы. В этом случае для атрибутов задаются весовые коэффициенты, определяющие влияние на итоговую оценку вероятности того, что оцениваемые записи относятся к одному и тому же объекту. Пары записей с вероятностями выше некоторого порога считаются связанными, а пары с вероятностями ниже другого порога считаются несвязанными. Пары, которые попадают между этими двумя пороговыми значениями, считаются кандидатами на связывание и обрабатываются отдельно (например, вручную).

Внедрение дополнительных механизмов повышения эффективности алгоритмов связывания, таких как блокирование попыток сравнения между записями, для которых выявлено значительное расхождение (дискриминация) в значениях базовых атрибутов, использование фонетического кодирования для сравнения слов на основе их фонетического сходства, а также применение методов машинного обучения позволяют успешно использовать метод ВИС в реальных, очень объемных, исследованиях [13]. Но опыт таких исследований показывает, что наибольших успехов в области автоматизации связывания записей исторического регистра в рамках ВИС удастся добиться при обработке метрических записей и подобных персональных источников демографических событий (категория IA в приведенной выше классификации исторических источников). При обработке источников семейной структуры (категория IB этой же классификации) возникают проблемы. Например, в таком первостепенном источнике по социально-демографической истории России, как ревизские сказки, всегда указываются имена персонажей. Но при попытке использовать эти данные в генеалогических исследованиях оказалось, что для идентификации лиц точность их недостаточна, поиск нужных лиц часто не приводит к успеху [14]. В случае когда для главы семьи может быть найдено соответствие, для остальных членов семьи, кроме вновь появившихся, автоматическое связывание становится довольно простой задачей, несмотря на наличие перечисленных выше негативных особенностей номинативных исторических источников. Но часто оказывается, что со времени последней переписи прошло уже довольно много лет, глава семьи мог смениться, многие представители старшего поколения могли умереть, дети — вырасти и т. д. В этом случае автоматическое связывание записей становится весьма затруднительным. Из этого следует, что имеется потребность в механизмах автоматического связывания для семейных структур в ситуации, когда стандартные алгоритмы ВИС не смогли установить связь ни для одного члена семьи.

5 Структурный подход к связыванию семей

Связывание записей в технологии ПКИИ осуществляется сравнением персон, информация о которых уже зафиксирована в семантической сети технологии, с персонами, упоминаемыми в некотором номинативном историческом документе.

Как показано выше, требуется решение для ситуации, когда в результате работы автоматических алгоритмов связывания, используемых в ВИС, каждая запись одного документа из категории исторических номинативных источников семейной структуры (ИБ) получает статус несвязанной или кандидата на связывание, причем множество записей-кандидатов на связывание не пусто. Для этого помимо сравнения атрибутов отдельных записей можно опереться на структуру родственных связей. Поскольку родственные связи образуют направленный граф с именованными связями и вершинами, соответствующими упоминаемым в документе персонам, предлагаемый подход опирается на оценку сходства структур таких графов. Для сравнения структур целесообразно опереться на:

- (1) объем совпадений в структурах графов (доля узлов, имеющих статус кандидатов на связывание);
- (2) объем легкообъяснимых несовпадений в структурах графов (доля соответствующих узлов):
 - исчезновение лиц из категории с высокой смертностью — маленькие дети и пожилые люди;
 - появление детей с возрастом, меньшим, чем прошло от предыдущей ревизии данной семьи;
 - появление супругов у ранее холостых молодых людей;
- (3) объем труднообъяснимых несовпадений в структурах графов (доля прочих узлов).

Рост объема совпадений должен увеличивать вероятность признания графов сходными, а рост объем труднообъяснимых несовпадений — уменьшать. При превышении с вычисленной вероятностью некоторого порогового значения записи-кандидаты на связывание должны признаваться связанными.

6 Описание алгоритма связывания

Пусть U — множество узлов графа, соответствующего структуре родственных связей персон, упоминаемых в некотором историческом номинативном документе семейной структуры. Пусть в результате работы алгоритмов ВИС автоматического связывания записей, осуществляющих поиск соответствия элементам U элементов семантической сети технологии ПКИИ, каждому элементу U будет сопоставлен один из множества признаков $K = \{k_+, k_0, k_-\}$, где k_+ — признак связанности; k_- — признак несвязанности; k_0 — признак кандидата на

связывание. Функцию сопоставления обозначим как $f : u \in U \Rightarrow f(u) \in K$. Обозначим

$$\begin{aligned}U_+ &: u \in U_+ \Rightarrow f(u) = k_+ ; \\U_- &: u \in U_- \Rightarrow f(u) = k_- ; \\U_0 &: u_0 \in U_0 \Rightarrow f(u) = k_0 .\end{aligned}$$

Рассмотрим ситуацию, когда $U_+ = \emptyset$, а $U_0 \neq \emptyset$. Ранее в такой ситуации формальных критериев связанности не существовало и решение могло быть принято только исследователем лично.

В качестве такого критерия предлагается использовать факт превышения вычисляемым показателем φ некоторого задаваемого пользователем порогового уровня $\bar{\varphi}$. Пусть $\tilde{U} \subset U_-$ — множество несвязанных узлов, для которых по описанным выше критериям несовпадения признаны легкообъяснимыми. Тогда φ можно определить следующим образом:

$$\varphi = \frac{\alpha|U_0|/|U| - \beta(|U_-| - |\tilde{U}|)/|U|}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}},$$

где α и β — весовые коэффициенты. Показатель φ представляет собой взвешенную разность доли совпадений и доли труднообъяснимых несовпадений, отнормированную относительно весовых коэффициентов.

7 Выводы

Предложенный механизм автоматизации проведения такой важной составляющей конкретно-исторического исследования, как идентификация персон в номинативных исторических документах семейной структуры, существенно дополняет и развивает технологию ПКИИ, ориентированную на широкий круг не относящихся к профессиональным историкам и биографам пользователей, что очень актуально в связи со все возрастающим общественным интересом к частной, семейной истории.

Оптимальные значения констант α , β и $\bar{\varphi}$ могут быть определены при использовании предложенного алгоритма в реальных конкретно-исторических исследованиях, проводимых с использованием технологии ПКИИ.

Литература

1. Помникова А. Ю. Семейная история в дискурсивном пространстве // Вестник Мининского университета, 2019. Т. 7. № 1(26). Ст. 9. 22 с.
2. Адамович И. М., Волков О. И. Технология распределенного автоматизированного анализа исторических текстов // Системы и средства информатики, 2016. Т. 26. № 3. С. 148–161.

3. *Адамович И. М., Волков О. И.* Единая технология поддержки конкретно-исторических исследований // Системы и средства информатики, 2019. Т. 29. № 1. С. 194–205.
4. *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.
5. *Маркова Н. А.* Технология поддержки конкретно-исторических исследований на основе модели фактоподобных высказываний // Программная инженерия, 2015. № 5. С. 43–48.
6. *Иконникова С. Н.* Биографика как часть исторической культурологии // Вестник СПбГУКИ, 2012. № 2(11). С. 6–10.
7. *Адамович И. М., Волков О. И.* Средства поддержки интернет-поиска при проведении биографических исследований // Системы и средства информатики, 2014. Т. 24. № 2. С. 178–192.
8. *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.
9. *Антонов Д. Н.* Восстановление истории семей: метод, источники, анализ: Дис. . . . канд. ист. наук. — М., 2000. 290 с.
10. *Ипполитов Г. М., Репинецкая Ю. С.* Историческое исследование: логика, стратегия, принципы, методы. — Самара: СГСПУ, 2019. 214 с.
11. *Торвальдсен Г.* Номинативные источники в контексте всемирной истории переписей: Россия и Запад // Известия Уральского федерального университета. Сер. 2: Гуманитарные науки, 2016. Т. 18. № 3(154). С. 9–28.
12. *Carvalho J.* Expert systems and community reconstruction studies // History and computing II. — Manchester, U.K.: Manchester University Press, 1989. P. 97–103.
13. *Торвальдсен Г.* Связывание записей в историческом регистре населения Норвегии // Историческая информатика, 2019. № 2. С. 212–231.
14. *Юрченко Н. Л.* Некоторые проблемы использования ревизских сказок как источника по исторической демографии // Вспомогательные исторические дисциплины, 1993. Т. XXIV. С. 183–189.

Поступила в редакцию 17.12.21

STRUCTURAL APPROACH TO RECORD LINKING IN 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 119333, Russian Federation

Abstract: The article is devoted to the further development of the distributed technology of concrete historical investigation support based on the principles of

crowdsourcing and focused on a wide range of users which are nonprofessional historians and biographers. The development is carried out due to the inclusion in the technology and modification of the means of automating of demographic events records linking that refer to the method of family reconstitution widely used in historical demography. The modification consists in creating the add-in over the algorithms of the family reconstitution method which provides automatic linking based on the comparison of the structures of the family relations graphs. The article describes the algorithm of this add-in functioning. The substantiation of the approach is based on the classification of nominative historical documents and on the analysis of the world practice of their automatic processing in the real genealogical and historical-demographic studies.

Keywords: concrete historical investigation; distributed technology; record linking; nominative document; family structure sources

DOI: 10.14357/08696527220109

References

1. Pomnikova, A. Yu. 2019. Semeynaya istoriya v diskursivnom prostranstve [Family stories in different types of discourse]. *Vestnik of Minin University* 7(1):9. 22 p.
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.
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.
4. 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.
5. Markova, N. A. 2015. Tekhnologiya podderzhki konkretno-istoricheskikh issledovaniy na osnove modeli faktopodobnykh vyskazyvaniy [Support technology for specific historical studies on the base of fact-like propositions model]. *Programmnyaya inzheneriya* [Software Engineering] 5:43–48.
6. Ikonnikova, S. N. 2012. Biografika kak chast' istoricheskoy kul'turologii [Biographical studies as part of the historical cultural studies]. *Vestnik SPbGUKI* [Herald of the St. Petersburg State University of Culture and Art] 2(11):6–10.
7. Adamovich, I. M., and O. I. Volkov. 2014. Sredstva podderzhki internet-poiska pri provedenii biograficheskikh issledovaniy [The technology of Internet search as a part of biographic investigation]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 24(2):178–192.
8. 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.

9. Antonov, D. N. 2000. Vosstanovlenie istorii semey: metod, istochniki, analiz [Family reconstitution: Method, sources, and analysis]. Moscow: IAI RGGU. PhD Thesis. 290 p.
10. Ippolitov, G. M., and Yu. S. Repinetskaya. 2019. *Istoricheskoe issledovanie: logika, strategiya, printsipy, metody* [Historical research: Logic, strategy, principles, and methods]. Samara: SGSPU. 214 p.
11. Thorvaldsen, G. 2016. Nominativnye istochniki v kontekste vseмирnoy istorii perepisey: Rossiya i Zapad [Nominative data and global census history: Russia and the West]. *Izvestiya Ural'skogo federal'nogo universiteta. Ser. 2. Gumanitarnye nauki* [Izvestia. Ural Federal University J. Ser. 2: Humanities and arts] 18(3):9–28.
12. Carvalho, J. 1989. Expert systems and community reconstruction studies. *History and computing II*. Manchester, U.K.: Manchester University Press. 97–103.
13. Thorvaldsen, G. 2019. Svyazyvanie zapisey v istoricheskom registre naseleniya Norvegii [Record linkage in the historical population register of Norway]. *Istoricheskaya informatika* [Historical Information Science] 2:212–231.
14. Yurchenko, N. L. 1993. Nekotorye problemy ispol'zovaniya revizskikh skazok kak istochnika po istoricheskoy demografii [Some problems of using census lists as a source for historical demography]. *Vspomogatel'nye istoricheskie distsipliny* [Auxiliary Historical Disciplines] XXIV:183–189.

Received December 17, 2021

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

МЕТОДОЛОГИЯ S-МОДЕЛИРОВАНИЯ: РАЗВИТИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ*

*В. Д. Ильин*¹

Аннотация: Методология символьного моделирования произвольных объектов в человеко-машинной среде (методология s-моделирования) включает теорию и расширяющуюся совокупность методов ее применения. В s-моделировании используются все виды символов (аудио, визуальных и др.), реализуемые в человеко-машинной среде. S-модели изучаются как сущности, имеющие три взаимосвязанных представления: символьное, кодовое и сигнальное. Конструирование s-моделей осуществляется в соответствии с правилами, соответствующими базовым задачам, определенным в теории s-моделирования. Методология s-моделирования рассматривается как методологическая платформа для научно обоснованной разработки информационных технологий и человеко-машинной среды цифровизации различных видов деятельности.

Ключевые слова: символьное моделирование; s-моделирование; информационные технологии; цифровизация

DOI: 10.14357/08696527220110

1 Введение

Осознание актуальной цели в процессе некоторой деятельности не всегда сопровождается ясным представлением о задачах, которые должны быть решены на пути к цели. При достижении нетривиальных целей (спроектировать машину, разработать информационную технологию и т. д.) наиболее продуктивным оказывается символьное представление замысла в человеко-машинной среде решения задач (s-среде). Такой подход имеет ряд проверенных практикой достоинств. Во-первых, анализируя символьную модель замысла (чертеж, спецификацию задачи и пр.), можно проверить, соответствует ли модель замыслу, и, если не соответствует, внести исправления в модель. Во-вторых, на модели, признанной соответствующей замыслу, можно провести проверку состоятельности самого замысла и, если проверка завершилась успехом, принять решение о целесообразности реализации замысла, а в противном случае заняться изменением замысла.

* Результаты получены при выполнении научно-исследовательской работы «Моделирование социальных, экономических и экологических процессов» (№ 0063-2016-0005), выполняемой в соответствии с государственным заданием ФАНО России для Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН.

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

Идея достижения цели с использованием символьных моделей воплощена во многих технологиях для различных видов деятельности.

Запись формул и выделение фрагментов текста. Для выделения определений, замечаний и примеров используются средства языка TSM-комплекса (TSM: textual symbolic modeling), разработанного для формализованного описания текстовых s-моделей сообщений¹.

В статье применены следующие средства выделения фрагментов текста:

□ ⟨фрагмент описания⟩ □ ≈ утверждение (определение, аксиома и др.) (здесь и далее символ ≈ заменяет слово «означает»);

◇ ⟨фрагмент описания⟩ ◇ ≈ замечание;

○ ⟨фрагмент описания⟩ ○ ≈ пример.

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

Обсуждаемые результаты. В статье рассмотрены примеры использования методологии s-моделирования при цифровизации различных видов деятельности.

2 S-моделирование программируемых автоматов

Управление поведением автоматов приводит к необходимости описания моделей их поведения на языках, воспринимаемых автоматами (или транслируемых в них), поэтому программирование поведения компьютеров и компьютерных устройств — часть s-моделирования. К s-моделированию относится и специфицирование программируемых задач.

Изобретение программ, помогающих создавать другие программы, — это и поиск средств повышения продуктивности, и постижение сути программирования. Какими должны быть программирующие программы? Как их построить? Попытки ответить на эти вопросы обычно бывают успешными в той мере, в какой удалось понять, что такое *программа* и *программирование* как деятельность. Когда говорим, что программирование способов решения задач — это процесс передачи знаний автомату, то характеризуем программирование как средство *символьного воплощения познанных закономерностей*. Воплощения, рассчитанного на восприятие программируемым автоматом.

Какие закономерности нам известны, когда беремся передавать автомату знания об умении разрабатывать программы? Как организовать совместную работу программиста и помогающего ему автомата, чтобы ее результат был больше суммы того, что можно получить, когда каждый из них работает независимо? Одни вопросы порождают другие. И с какого бы из них ни начали, неизбежно встанет вопрос о задачах, из решения которых складывается процесс разработки программ.

¹Ильин В. Д. Символьное моделирование // Большая российская энциклопедия — электронная версия. <http://dev.bigenc.ru/technologyandtechnique/text/4010980>.

Представить деятельность, подлежащую автоматизации, в виде совокупности задач — так же естественно, как вслед за этим выбрать те из них, которые изучены настолько, что имеет смысл передать их решение автомату.

Система порождения программ [1] стала наиболее известным результатом использования *методологии s-моделирования* применительно к решению комплекса задач автоматизации конструирования программных систем. С начала 1990-х гг. эта работа цитируется в статьях и книгах, посвященных технологиям программирования и построения систем знаний (примером могут служить [2–8]).

В системе порождения целевых программных систем *целевой* называется программная система, предназначенная для решения конечного множества задач, рассматриваемого как *задача более высокого уровня (цель)*. Целевая система обладает рядом обязательных признаков. Ее архитектура рассчитана на объединение нескольких систем в целевую систему более высокого уровня. Существует возможность получить новую систему как сужение исходной.

Порождение — это процесс продуцирования целевых систем на основе других целевых систем, называемых *порождающими*. Искомая система получается как результат конструктивного доказательства ее существования, выполняемого порождающей системой. *Среда порождения* — это программная среда, назначение которой состоит в поддержке процесса формирования и реализации замысла разработчиков целевых систем. Среду порождения можно рассматривать как совокупность взаимодействующих целевых систем, в которой уже появившиеся на свет системы помогают разработчикам порождать новые. Функциональный облик среды определяется ее назначением: обучение разработчика, объяснения по его запросу шагов порождения — все это присуще ей. В результате последовательных приближений, когда человек формирует и уточняет свои представления о порождаемой системе, он постепенно добивается такого ее описания, которому свойственны недвусмысленность и точность спецификации. Повышение продуктивности разработки целевых систем недостижимо без предоставления свободы в выборе способа взаимодействия со средой и без снятия нагрузки, связанной с запоминанием правил работы в ней. Языки взаимодействия с порождающей системой — это интерактивные формоориентированные языки описания порождаемой системы. Они рассчитаны на использование интерактивных средств. Их прагматика ориентирована на эффективную поддержку рассуждений разработчика, обдумывающего функциональный облик порождаемой системы. Методология порождения программ включает теоретические основы и метод порождения целевых систем, описание языков специфицирования и программирования, ориентированных на порождение.

Модель кооперативного решателя задач на основе цифровых двойников [9] — методологическое развитие модели *инфа* (программируемой машины для решения задач), предложенной в [1].

Участники кооперации (названные *dt-инфами*) рассматриваются как обучающиеся машины для решения задач. *dt-инф*, наделенный конечным множеством состояний и целью (понимаемой как множество разрешимых задач предметной

области), в процессах решения задач взаимодействует с другими членами кооперации и элементами окружения путем обмена унифицированными сообщениями. Предметная область (для каждого dt-инфа) представлена задачным графом, рассчитанным на поиск разрешающих структур и формализацию знаний о задачах. Множество вершин графа составлено из задачных конструктивных объектов. Каждая вершина имеет память, представленную памятью задачи (простой или составной) или задачной области. Ребро задачного графа — пара вершин с непустым пересечением по памяти. Нагрузка ребра определяется множеством всех пар элементов памяти, входящих в пересечение. Модель кооперативного решателя задач рассчитана на применение при разработках информационных технологий и онлайн-сервисов.

□ *Цифровой двойник* (далее — dt) — это реализованная s-модель некоторого объекта (технического устройства, деятельности или организации), предназначенная для анализа и совершенствования его поведения. □

Для построения dt используют значения параметров, характеризующих поведение моделируемого объекта (○ для технических устройств — данные, поступающие от соответствующих датчиков ○). С момента создания dt (как образа объекта) он накапливает знания о своем прообразе, обмениваясь с ним сообщениями и обновляясь. Различают цифровые двойники-прототипы (Digital Twin Prototype, DTP), цифровые двойники-экземпляры (Digital Twin Instance, DTI) и цифровые агрегированные двойники (Digital Twin Aggregate, DTA). DTP используется при создании физической версии моделируемого объекта; DTI — модель существующего объекта, с которым DTI предназначено взаимодействовать; DTA — комплекс средств обработки данных, предназначенный для взаимодействия с заданной совокупностью DTI. ◇ Технология *Digital Twin* построения цифровой s-модели произвольного объекта обязательно предполагает возможность получения данных о его поведении (путем измерения значений некоторой совокупности параметров объекта). ◇

dt-инф рассматривается с двух точек зрения. Во-первых, как информационный автомат, взаимодействующий с себе подобными автоматами и с *элементами окружения* путем отправки сообщений. Такое представление нужно, чтобы, не вникая в механизмы решения задач, работать с dt-инфом как с активным символьным объектом, реализованным в s-среде. Второй облик dt-инфа используется, чтобы раскрыть его предназначение как средства решения задач определенной предметной области. Реализация модели предметной области, интерпретация запросов на модели — такие вопросы рассматриваются на основе второго представления. Расширение множества разрешимых задач достигается увеличением числа вершин и ребер задачного графа. Такая работа выполняется в специальном режиме «расширение» на копии расширяемого задачного графа. Целевое назначение dt-инфа представляет его функциональная компонента. Содержание задач, служащих вершинами задачного графа, связи по памяти между задачами, представленные ребрами графа, — все это определяет задачный облик функциональной компоненты. Каждый участник кооперации специализируется

на определенном классе задач из заданной предметной области. Это могут быть задачи построения системы знаний, автоматизированного конструирования программ и пр. Цифровые двойники служат средством совершенствования поведения кооперации. Они специализируются на анализе поведения отдельных участников и кооперации в целом, получая данные и отправляя результаты путем обмена сообщениями со своими прообразами. Для анализа используются обновляемые знания о прообразах.

Результаты развития методологии s-моделирования, представленные в [9–14], находят применение в работах исследователей различных предметных областей [15–19].

3 S-моделирование экономического механизма

S-моделированию социально-экономических процессов посвящены результаты работ, представленных в [20–25].

□ *Нормализованный экономический механизм* (НЭМ) [22] рассматривается как рыночная экономическая система, технологии работы которой реализуются посредством онлайн-сервисов, функционирующих в среде цифровых двойников. НЭМ представляет собой (основанную на современных информационных технологиях) человекотехническую систему, связанную отношениями *координации* и *подчинения* с государственным механизмом. □

Ядром комплекса документирования товарно-денежного обращения и имущественных статусов участников экономической деятельности (эд-участников) служит *система имущественных статусов*. Денежная составляющая имущественных статусов выражена значениями сумм нормализованных денег в разделах *уникальных поливалютных счетов эд-участников (ис-счетов)*. Неденежная — документами, подтверждающими право собственности на недвижимость, транспорт и другое имущество, которое при необходимости может рассматриваться как залоговое.

□ *Ис-счет* — *уникальный поливалютный банковский счет*, размещенный в *персональном электронном банке (ПЭБе)* физического лица или *корпоративном электронном банке (КЭБе)* юридического лица. Представляет собой унифицированный электронный документ, состоящий из валютных частей (активируемых банком-регулятором). Поскольку ис-счет имеет поливалютную структуру, он применим для документирования результатов внутренней и внешней экономической деятельности. □

Результаты, полученные в [20–25], применены в работах экономистов [26–30], посвященных бюджетированию, цифровой трансформации предприятия и др.

4 Заключение

В обзоре представлены основные направления развития и применения методологии s-моделирования.

Приведены примеры ее применения при создании технологий конструирования программ, кооперативного решения задач на основе цифровых двойников и др. [1–19].

Особое внимание уделено s-моделированию социально-экономических существностей [20–30].

Литература

1. *Ильин В. Д.* Система порождения программ. — М.: Наука, 1989. 264 с.
2. *Цой Э. В., Юдин А. Д., Юдин Д. Б.* Задачи пополнения и синтеза знаний // Автоматика и телемеханика, 1994. № 7. С. 3–36.
3. *Кургаев А. Ф.* Основные направления работ по проблемной ориентации компьютерных комплексов // Математические машины и системы, 2002. № 2. С. 10–28.
4. *Скрипкин С. К., Ворожцова Т. Н.* Современные методы метапрограммирования и их перспективы // Вестник Иркутского гос. техн. ун-та, 2006. № 2-3(26). С. 90–97.
5. *Клачек П. М., Полупан К. Л., Корягин С. И., Либерман И. В.* Гибридный вычислительный интеллект. — Калининград: БФУ им. И. Канта, 2018. 191 с.
6. *Доренская Е. А., Куликовская А. А., Семёнов Ю. А.* Язык описания проблемы и исследование его возможностей // Современные информационные технологии и ИТ-образование, 2020. Т. 16. № 3. С. 653–663.
7. *Федоров А. А., Либерман И. В., Корягин С. И. и др.* Основы создания нейро-цифровых экосистем: Гибридный вычислительный интеллект. — Калининград: БФУ им. И. Канта, 2021. 241 с.
8. *Крючков А. В., Степин Ю. П.* Концептуальные основы системы без программирования и ее возможное применение для импортозамещения в процессах разработки специального программного обеспечения АСУП // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности, 2021. № 9(578). С. 60–68.
9. *Ильин В. Д.* Модель кооперативного решателя задач на основе цифровых двойников // Системы и средства информатики, 2019. Т. 19. № 2. С. 172–179. doi: 10.14357/08696527190215.
10. *Ильин В. Д., Соколов И. А.* Символьная модель системы знаний информатики в человеко-автоматной среде // Информатика и её применения, 2007. Т. 1. Вып. 1. С. 66–78.
11. *Ильин А. В., Ильин В. Д.* Основы теории s-моделирования. — М.: ИПИ РАН, 2009. 144 с.
12. *Ильин А. В., Ильин В. Д.* S-моделирование объектов информатизации. — М.: ИПИ РАН, 2010. 412 с.
13. *Ильин А. В., Ильин В. Д.* Символьное моделирование в информатике. — М.: ИПИ РАН, 2011. 204 с.
14. *Ильин А. В., Ильин В. Д.* Создание человеко-машинной среды решения задач // Системы и средства информатики, 2016. Т. 26. № 4. С. 149–161.
15. *Желтов П. В.* Построение синтаксической структуры предложения с помощью символьного решателя // Вестник Казанского гос. техн. ун-та им. А. Н. Туполева, 2013. № 2-1. С. 116–120.

16. *Kravchenko V. A., Shirapov D. Sh.* Logic-functional modeling of nonlinear radio engineering systems // Multi-Conference (International) on Industrial Engineering and Modern Technologies Proceedings. — Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2018. Art. 8602769. 6 p. doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602769.
17. *Shvalov D. V., Kravchenko V. A., Shirapov D. Sh.* Automated logic-mathematical modeling of railway automation devices technical condition // Multi-Conference (International) on Industrial Engineering and Modern Technologies Proceedings. — Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2019. Art. 8934943. 7 p. doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934943.
18. *Лосев К. Ю.* Информационные особенности жизненного цикла зданий и сооружений // Вестник евразийской науки, 2021. Т. 13. № 1. Ст. 8. 8 с.
19. *Жирнов В. В., Солонская С. В.* Метод преобразования символьных радарных отметок малозаметных подвижных объектов на основе эффекта Тальбота // Радиотехника, 2021. № 2(205). С. 129–137. doi: 10.30837/rt.2021.2.205.14.
20. *Ильин А. В., Ильин В. Д.* Интерактивный преобразователь ресурсов с изменяемыми правилами поведения // Информационные технологии и вычислительные системы, 2004. № 2. С. 67–77.
21. *Ильин А. В.* Экспертное планирование ресурсов. — М.: ИПИ РАН, 2013. 58 с.
22. *Ильин А. В., Ильин В. Д.* Информатизация экономического механизма. — М.: ИПИ РАН, 2015. 130 с.
23. *Puyin A. V., Puyin V. D.* Variational online budgeting taking into account the priorities of expense items // Agris on-line Papers in Economics and Informatics, 2016. Vol. 8. No. 3. P. 51–56. doi: 10.7160/aol.2016.080305.
24. *Ильин В. Д.* Нормализация банковских онлайн-сервисов // Системы и средства информатики, 2016. Т. 26. № 2. С. 147–157. doi: 10.14357/08696527160210.
25. *Ильин В. Д.* Технология назначенных платежей в среде цифровых двойников // Системы и средства информатики, 2018. Т. 28. № 3. С. 227–235. doi: 10.14357/08696527180318.
26. *Гельруд Я. Д., Логиновский О. В.* Управление проектами: методы, модели, системы. — Челябинск: ЮУрГУ, 2015. 330 с.
27. *Бауэр В. П., Еремин В. В., Сильвестров С. И., Смирнов В. В.* Экономическое моделирование процессов цифровой трансформации // Ж. экономической теории, 2019. Т. 16. № 3. С. 428–443. doi: 10.31063/2073-6517/2019.16-3.11.
28. *Kikavets V. V., Tsaregradskaya Y. K.* The implementation of principles of the budget process in the financing of public procurement in the digital economy // Artificial intelligence: Anthropogenic nature vs. social origin / Eds. E. Popkova, B. Sergi. — Advances in intelligent systems and computing ser. — Springer, 2020. Vol. 1100. P. 28–35.
29. *Сильвестров С. Н., Бауэр В. П., Еремин В. В., Лапенкова Н. В.* О цифровой трансформации предприятия в контексте системной экономической теории // Экономическая наука современной России, 2020. № 2(89). С. 22–45.
30. *Бирюков А. Н.* Бюджетирование как инструмент ипотечной кредитной программы банка // Научное обозрение: теория и практика, 2021. Т. 11. № 3(83). С. 794–805.

Поступила в редакцию 14.02.22

S-MODELING METHODOLOGY: DEVELOPMENT AND APPLICATION

V. D. Ilyin

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

Abstract: The methodology of symbolic modeling of arbitrary objects in the human–machine environment (s-modeling methodology) includes the theory and an expanding set of methods for its application. S-modeling uses all kinds of symbols (audio, visual, etc.) implementable in the human–machine environment of s-modeling (s-environment). S-models are studied as entities having three interrelated representations in the s-environment: symbolic, code, and signal. The construction of s-models is carried out according to the rules corresponding to the classes of basic s-modeling tasks. The s-modeling methodology is considered as a methodological platform for the scientifically based development of information technologies and s-environment for digitalization of various types of activities.

Keywords: symbolic modeling; s-modeling; information technology; digitalization

DOI: 10.14357/08696527220110

Acknowledgments

The results were obtained in the course of the research work “Modeling of social, economic, and ecological processes” (No. 0063-2016-0005) carried out in accordance with the state assignment of FANO of Russia for the Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences.

References

1. Ilyin, V. D. 1989. *Sistema porozhdeniya programm* [The system of program generating]. Moscow: Nauka. 264 p.
2. Tsoy, E. V., A. D. Yudin, and D. B. Yudin. 1994. Problems of supplementation and synthesis of knowledge. *Automat. Rem. Contr.* 55(7):927–953.
3. Kurgaev, A. F. 2002. Osnovnye napravleniya rabot po problemnoy orientatsii komp'yuternykh kompleksov [Main directions of work on the problem orientation of computer systems]. *Matematicheskie mashiny i sistemy* [Mathematical Machines and Systems] 2:10–28.
4. Skripkin, S. K., and T. N. Vorozhtsova. 2006. Sovremennye metody metaprogrammirovaniya i ikh perspektivy [Modern methods of metaprogramming and their prospects]. *Vestnik Irkutskogo gos. tekhn. un-ta* [Proceedings of Irkutsk State Technical University] 2-3(26):90–97.
5. Klachek, P. M., K. L. Polupan, S. I. Koryagin, and I. V. Liberman. 2018. *Gibridnyy vychislitel'nyy intellect* [Hybrid computational intelligence]. Kaliningrad: IKBFU Pubs. 191 p.
6. Dorenskaya, E. A., A. A. Kulikovskaya, and Yu. A. Semenov. 2020. Yazyk opisaniya problemy i issledovanie ego vozmozhnostey [Exploring possibilities of language for

- describing the problem]. *Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii i IT-obrazovanie* [Modern Information Technologies and IT Education] 16(3):653–663.
7. Fedorov, A. A., I. V. Liberman, S. I. Koryagin, et al. 2021. *Osnovy sozdaniya neyrotsifrovyykh ekosistem: Gibridnyy vychislitel'nyy intellekt* [Fundamentals of creating neuro-digital ecosystems: Hybrid computational intelligence]. Kaliningrad: IKBFU Publs. 241 p.
 8. Kryuchkov, A. V., and Yu. P. Stepin. 2021. Kontseptual'nye osnovy sistemy bez programmirovaniya i ee vozmozhnoe primeneniye dlya importozameshcheniya v protsessakh razrabotki spetsial'nogo programmnogo obespecheniya ASUP [Conceptual foundations of the system without programming and its possible application for import substitution in the development of special software]. *Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz' v neftyanoy promyshlennosti* [Automation, Telemechanization and Communication in Oil Industry] 9(578):60–68.
 9. Ilyin, V. D. 2019. Model' kooperativnogo reshatelya zadach na osnove tsifrovyykh dvoynikov [The model of the cooperative problem solver based on digital twins]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 29(2):172–179. doi: 10.14357/08696527190215.
 10. Ilyin, V. D., and I. A. Sokolov. 2007. Simvol'naya model' sistemy znaniy informatiki v cheloveko-avtomatnoy srede [The symbolic model of informatics knowledge system in a human–automaton environment]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 1(1):66–78.
 11. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2009. *Osnovy teorii s-modelirovaniya* [Basics of the theory of s-modeling]. Moscow: IPI RAN. 144 p.
 12. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2010. *S-modelirovaniye ob'ektov informatizatsii* [S-modeling of informatization objects]. Moscow: IPI RAN. 412 p.
 13. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2011. *Simvol'noye modelirovaniye v informatike* [The symbol modeling in informatics]. Moscow: IPI RAN. 204 p.
 14. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2016. Sozdaniye cheloveko-mashinnoy sredy resheniya zadach [Creation of a human–machine environment for problem solving]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 26(4):149–161.
 15. Zheltov, P. V. 2013. Postroyeniye sintaksicheskoy struktury predlozheniya s pomoshch'yu simvol'nogo reshatelya [Building the syntactic structure of a sentence using a symbolic solver]. *Vestnik Kazanskogo gos. tekhn. un-ta im. A. N. Tupoleva* [Bulletin of the Kazan State Technical University named after A. N. Tupolev] 2-1:116–120.
 16. Kravchenko, V. A., and D. Sh. Shirapov. 2018. Logic-functional modeling of nonlinear radio engineering systems. *Multi-Conference (International) on Industrial Engineering and Modern Technologies Proceedings*. Piscataway, NJ: IEEE. Art. 8602769. 6 p. doi: 10.1109/FarEastCon.2018.8602769.
 17. Shvalov, D. V., V. A. Kravchenko, and D. Sh. Shirapov. 2019. Automated logic-mathematical modeling of railway automation devices technical condition. *Multi-Conference (International) on Industrial Engineering and Modern Technologies Proceedings*. Piscataway, NJ: IEEE. Art. 8934943. 7 p. doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8934943.
 18. Losev, K. Yu. 2021. Informatsionnyye osobennosti zhiznennogo tsikla zdaniy i sooruzheniy [Information features of the life cycle of buildings and structures]. *Eurasian Scientific J.* 13(1):8. 8 p.
 19. Zhirnov, V. V., and S. V. Solonskaya. 2021. Metod preobrazovaniya simvol'nykh radarnyykh otmetok malozametnykh podvizhnykh ob'ektov na osnove effekta Tal'bota

- [Method for converting symbolic radar markers of inconspicuous moving objects based on the Talbot effect]. *Radiotekhnika* [Radiotechnics] 2(205):129–137. doi: 10.30837/rt.2021.2.205.14.
20. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2004. Interaktivnyy preobrazovatel' resursov s izmenyaemyimi pravilami povedeniya [Interactive resource converter with customisable rules of behavior]. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy* [J. Information Technologies and Computing Systems] 2:67–77.
 21. Ilyin, A. V. 2013. *Ekspertnoe planirovanie resursov* [Expert resource planning]. Moscow: IPI RAN. 58 p.
 22. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2015. *Informatizatsiya ekonomicheskogo mekhanizma* [Informatization of economic mechanism]. Moscow: IPI RAN. 130 p.
 23. Ilyin, A. V., and V. D. Ilyin. 2016. Variational online budgeting taking into account the priorities of expense items. *Agris on-line Papers in Economics and Informatics* 8(3):51–56. doi: 10.7160/aol.2016.080305.
 24. Ilyin, V. D. 2016. Normalizatsiya bankovskikh onlayn-servisov [Normalization of online banking services]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 26(2):147–157. doi: 10.14357/08696527160210.
 25. Ilyin, V. D. 2018. Tekhnologiya naznachennykh platezhey v srede tsifrovyykh dvoynikov [Designated payments technology in digital twins environment]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 28(3):227–235. doi: 10.14357/08696527180318.
 26. Gel'rud, Ya. D., and O. V. Loginovskiy. 2015. *Upravlenie proektami: metody, modeli, sistemy* [Project management: Methods, models, and systems]. Chelyabinsk: YuUrGU. 330 p.
 27. Bauer, V. P., V. V. Eremin, S. N. Silvestrov, and V. V. Smirnov. 2019. Ekonomicheskoe modelirovanie protsessov tsifrovoy transformatsii [Economic modeling of digital transformation processes]. *Zh. ekonomicheskoy teorii* [Russ. J. of Economic Theory] 16(3):428–443. doi: 10.31063/2073-6517/2019.16-3.11.
 28. Kikavets, V. V., and Y. K. Tsaregradskaya. 2020. The implementation of principles of the budget process in the financing of public procurement in the digital economy. *Artificial intelligence: Anthropogenic nature vs. social origin*. Eds. E. Popkova and B. Sergi. Advances in intelligent systems and computing ser. Springer. 1100:28–35.
 29. Sil'vestrov, S. N., V. P. Bauer, V. V. Eremin, and N. V. Lapenkova. 2020. O tsifrovoy transformatsii predpriyatiya v kontekste sistemnoy ekonomicheskoy teorii [About digital transformation of the enterprise in the context of systemic economic theory]. *Ekonomicheskaya nauka sovremennoy Rossii* [Economics of Contemporary Russia] 2(89):22–45.
 30. Biryukov, A. N. 2021. Byudzhetrovanie kak instrument ipotechnoy kreditnoy programmy banka [Budgeting as a tool of the bank's mortgage loan program]. *Nauchnoe obozrenie: teoriya i praktika* [Scientific Review: Theory and Practice] 11(3(83)):794–805.

Received February 14, 2022

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., Moscow 119333, Russian Federation; vdilyin@yandex.ru

АРХИТЕКТУРА БАЗЫ ДАННЫХ ИЕРАРХИИ ЛОГИКО-СЕМАНТИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ*

А. А. Дурново¹, О. Ю. Инькова², Н. А. Попкова³

Аннотация: Описана архитектура нового лингвистического ресурса, Надкорпусной базы данных иерархий логико-семантических отношений (НБДИ ЛСО), обеспечивающих связность текста. Аннотации в базе данных имеют форму деревьев, т. е. ориентированных связных ациклических графов, где узлы (вершины) содержат данные, а ребра отображают отношение подчиненности между узлами. Каждый узел дерева соответствует либо контексту, либо коннектору. В тексте помечаются имеющиеся в нем коннекторы. Авторы описывают связь таблиц надкорпусной базы данных с деревьями и их свойствами. Показаны отличия нового лингвистического ресурса от существующих, в частности от графов риторических отношений, созданных в рамках теории риторической структуры: возможность хранить полученную информацию, видоизменять аннотируемые контексты и работать с пустыми контекстами; отражать предыдущие состояния дерева отношений.

Ключевые слова: надкорпусная база данных; аннотирование корпусов текстов; граф; дискурсивные отношения; коннектор

DOI: 10.14357/08696527220111

1 Введение

В современной лингвистике существуют несколько подходов к анализу связности текста, как и способов представления этой информации в аннотированных с этой точки зрения корпусах (см., например, [1–3]). Большинство из них оперируют понятиями «дискурсивная единица (сегмент текста)» и «отношение между этими единицами» (риторическое, дискурсивное, логико-семантическое и т. д.). Одна из наиболее известных дискурсивных моделей — Rhetorical Structure Theory (теория риторической структуры, ТРС), предложенная в 1980-е гг. У. Манном и С. Томпсон [4]. В ней организация текста представлена в виде дре-

*Работа выполнялась с использованием инфраструктуры Центра коллективного пользования «Высокопроизводительные вычисления и большие данные» (ЦКП «Информатика») ФИЦ ИУ РАН (г. Москва) в рамках швейцарско-российского проекта «Методология аннотирования в надкорпусной базе данных коннекторов» по гранту Швейцарского государственного секретариата по образованию, исследованиям и инновациям.

¹Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, duralex49@mail.ru

²Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук; Женевский университет, oyuainkova@yandex.ru

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

вовидной иерархической структуры, элементарные единицы которой объединены риторическими отношениями, образуя более крупные единицы, которые, в свою очередь, связаны между собой теми же отношениями, и т. д. Поскольку это наиболее близкая к описанной в настоящем исследовании базе данных по способу представления организации текста модель, то остановимся на ней подробно.

Для аннотирования текста используется программное обеспечение RSTTool, разработанное в 1990-х гг. М. О'Донеллом [5] и в дальнейшем усовершенствованное [6]. Третья версия программы была разработана Д. Марку¹ и позволяет, в частности, аннотировать маркеры (signals) отношений [7]. Лингвист имеет возможность загрузить в программу текст, который затем расчленяется на минимальные дискурсивные единицы (МДЕ), представляющие собой в большинстве случаев клаузы. На следующем этапе полученные МДЕ анализируются с точки зрения существующих между ними риторических отношений, заданных закрытым списком (30 отношений). В результате для всего текста, обычно небольшого по объему, создается единая древовидная структура, отражающая связи между входящими в его состав МДЕ. Программное обеспечение позволяет получить для данного конкретного текста элементарную статистику по числу встречающихся в нем риторических отношений.

Программное обеспечение RSTTool имеет ряд недостатков, которые отмечаются как самими разработчиками, так и лингвистами. Прежде всего речь идет только о программном обеспечении аннотирования, не предусматривающем последующего хранения информации. Во-вторых, при делении текста на МДЕ возникает проблема со вставными элементами, т. е., по определению, случаями, когда риторически зависимый фрагмент текста находится внутри другого узла

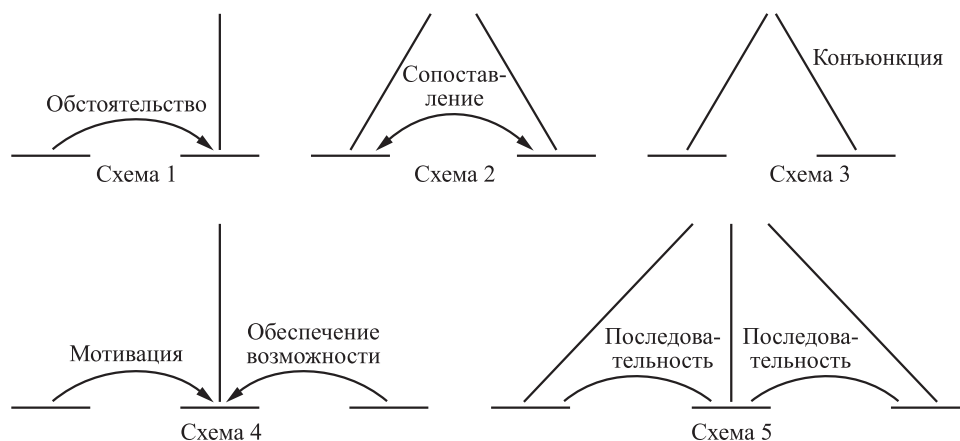


Рис. 1 Схемы отношений в теории риторической структуры [4, р. 247]

¹Эта версия программы доступна по адресу: <https://www.isi.edu/~marcu>.

(ср. находящийся между тире фрагмент текста в предложении John, — I think you know him — is here for two weeks). В настоящее время программа не может обрабатывать такие случаи. В-третьих, набор риторических отношений между МДЕ не может меняться, а построенная иерархическая структура на всех ее уровнях должна отвечать одной из пяти возможных схем (рис. 1).

Более того, сама связность текста оценивается по степени соответствия одной из этих схем [8, р. 428]. С лингвистической точки зрения это, безусловно, упрощенный взгляд на связность текста (см. аргументацию в [9–11]).

2 Надкорпусная база данных иерархии логико-семантических отношений

Надкорпусная база данных иерархии логико-семантических отношений предназначена для хранения аннотаций, создаваемых специалистами-лингвистами на основании анализа логико-семантических отношений в текстах. Эти аннотации имеют форму **деревьев** (рис. 2), т. е. ориентированных связных ациклических графов, где узлы (вершины) содержат данные, а ребра отображают отношение подчиненности между узлами.

Надкорпусная база данных иерархии логико-семантических отношений помимо собственных данных использует данные, содержащиеся в базе данных текстов (БДТ¹), а также данные из надкорпусной базы данных коннекторов (НБДК²).

Основной единицей хранения текстов в БДТ служит трансляция. Трансляция представляет собой упорядоченную последовательность пар, где первым элементом является **фрагмент** (одно или несколько предложений) текста оригинала, а вторым — соответствующий ему фрагмент текста перевода:

$$\langle \langle o_0, t_0 \rangle, \langle o_1, t_1 \rangle, \langle o_2, t_2 \rangle, \dots, \langle o_{n-1}, t_{n-1} \rangle \rangle.$$

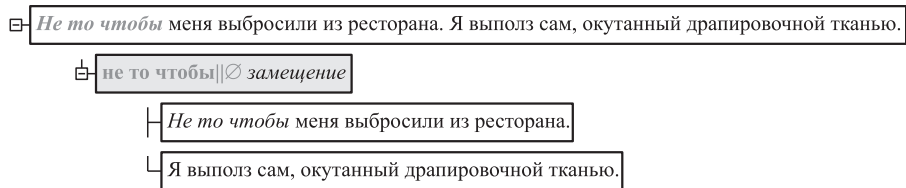


Рис. 2 Дерево контекстов

¹База данных текстов содержит тексты параллельных французского и итальянского подкорпусов Национального корпуса русского языка (www.ruscorpora.ru) общим объемом около 11 млн словоупотреблений.

²Об устройстве базы данных коннекторов и ее функциональных возможностях см. [12], о понятии «надкорпусная база данных» см. [13, 14].

Пример пары фрагментов текста из БДТ

Оригинальный текст	Перевод
Не то чтобы меня выбросили из ресторана. Я выполз сам, окутанный драпировочной тканью. Сергей Довлатов. Заповедник (1983)	Je n'irais pas jusqu'à dire qu'on m'a jeté à la porte du restaurant. J'ai rampé dehors, drapé dans le store. Tr. Christine Zeytounian-Beloïis (2004)

Здесь n — число пар фрагментов в трансляции; o_0, o_1, \dots, o_{n-1} — первый, второй, ..., последний фрагменты текста оригинала; t_0, t_1, \dots, t_{n-1} — первый, второй, ..., последний фрагменты текста перевода. Последовательность $\langle o_0, o_1, o_2, \dots, o_{n-1} \rangle$ соответствует полному тексту оригинала, а последовательность $\langle t_0, t_1, t_2, \dots, t_{n-1} \rangle$ — полному тексту перевода. Пары вида $\langle o_i, t_i \rangle$ будем называть парами фрагментов или просто **парами** (см. пример пары из французского подкорпуса в таблице).

Фрагменты текста, составляющие пары, хранятся в БДТ не только в виде текста, но и в виде упорядоченной последовательности всех словоупотреблений текста, т. е. словоформ с порядковыми номерами относительно всего текста. Содержащееся в НБДИ ЛСО дерево контекстов может быть построено на одном или нескольких смежных фрагментах текста оригинала или текста перевода. Дерево имеет следующие свойства: **идентификатор трансляции в БДТ**; **диапазон** (порядковый номер начальной пары и порядковый номер конечной пары); **источник** (0 — оригинал; 1 — перевод); **язык текста** (идентификатор языка в БДТ); **корневой узел дерева**.

Каждый узел дерева соответствует либо **контексту** (Т-узел), либо **коннектору** [15], т. е. показателю логико-семантического отношения между связываемыми им контекстами (С-узел). Корневым узлом дерева всегда является Т-узел. Т-узел может иметь непосредственно подчиненный ему С-узел, а С-узел всегда имеет не менее двух подчиненных ему Т-узлов. Глубина дерева не ограничивается.

Т-узел имеет следующие свойства:

родительский С-узел (корневой узел дерева родительского С-узла не имеет);

диапазон (порядковый номер первого словоупотребления, порядковый номер последнего словоупотребления) — не может выходить за пределы диапазона дерева, не может также выходить за пределы диапазона вышестоящего контекста (если таковой имеется);

набор словоформ, входящих во встраивающие и встроенные коннекторы¹;

¹Встраивающим называется коннектор, в сфере действия которого находится еще один коннектор, называемый встроенным. Ср.: Между нами уже было не так, как раньше, *то есть* мы дружили, *но* все больше я на нее покрикивала (С. А. Алексиевич). В сфере действия коннектора *то есть* (в его правом контексте, включающем фрагмент «мы дружили, *но* все больше я на нее покрикивала») находится коннектор *но*. *То есть* является здесь встраивающим коннектором, *но* — встроенным.

текст, который может быть сплошным, а может включать отрезки, не входящие в сферу действия коннектора (в этом случае «пропуски» в тексте обозначаются сочетанием символов [...] — ни один из отрезков не должен выходить за пределы диапазона контекста, отрезки не могут иметь общих частей);

наличие текста — текст может быть помечен как пустой (в таком случае он содержит только коннектор);

порядковый номер относительно родительского С-узла — для всех контекстных узлов, кроме корневого;

набор отрезков текста — только для контекстов, состоящих из не связанных непосредственно частей.

С-узел имеет следующие свойства:

родительский Т-узел;

идентификатор типа коннектора в НБДК;

набор идентификаторов свойств коннектора из кластера «Отношения» в НБДК;

набор Т-узлов — контекстов, вводимых данным коннектором (не менее двух).

Надкорпусная база данных иерархии логико-семантических отношений спроектирована так, что она позволяет хранить не только текущее состояние каждого дерева, но и полную информацию о состоянии каждого дерева (включая удаленные из базы) в любой момент времени. При этом для каждого состояния, как актуального, так и «исторического», хранится информация о пользователе, создавшем данное состояние. На рис. 2 приведен пример дерева для русского фрагмента текста из таблицы.

3 Таблицы надкорпусной базы данных иерархии логико-семантических отношений

Надкорпусная база данных иерархии логико-семантических отношений имеет 8 таблиц (рис. 3). Таблица **Structure** соответствует деревьям. Она содержит идентификатор трансляции из БДТ, диапазон дерева, а также информацию об источнике (оригинал это или перевод). Таблица **Context** соответствует Т-узлам деревьев. Она содержит идентификатор дерева, идентификатор родительского С-узла (если он есть) и порядковый номер среди подчиненных этому С-узлу Т-узлов, порядковые номера первого и последнего словоупотребления относительно всего текста, текст Т-узла, а также признак, является ли Т-узел пустым. Таблица **Link** соответствует С-узлам дерева. Она содержит идентификатор дерева, идентификатор родительского Т-узла, а также идентификатор типа коннектора из НБДК. Таблица **Mark** отображает позиции коннекторов в текстах Т-узлов. В ней содержатся идентификатор Т-узла, порядковый номер словоупотребления относительно текста Т-узла, а также информация о функции

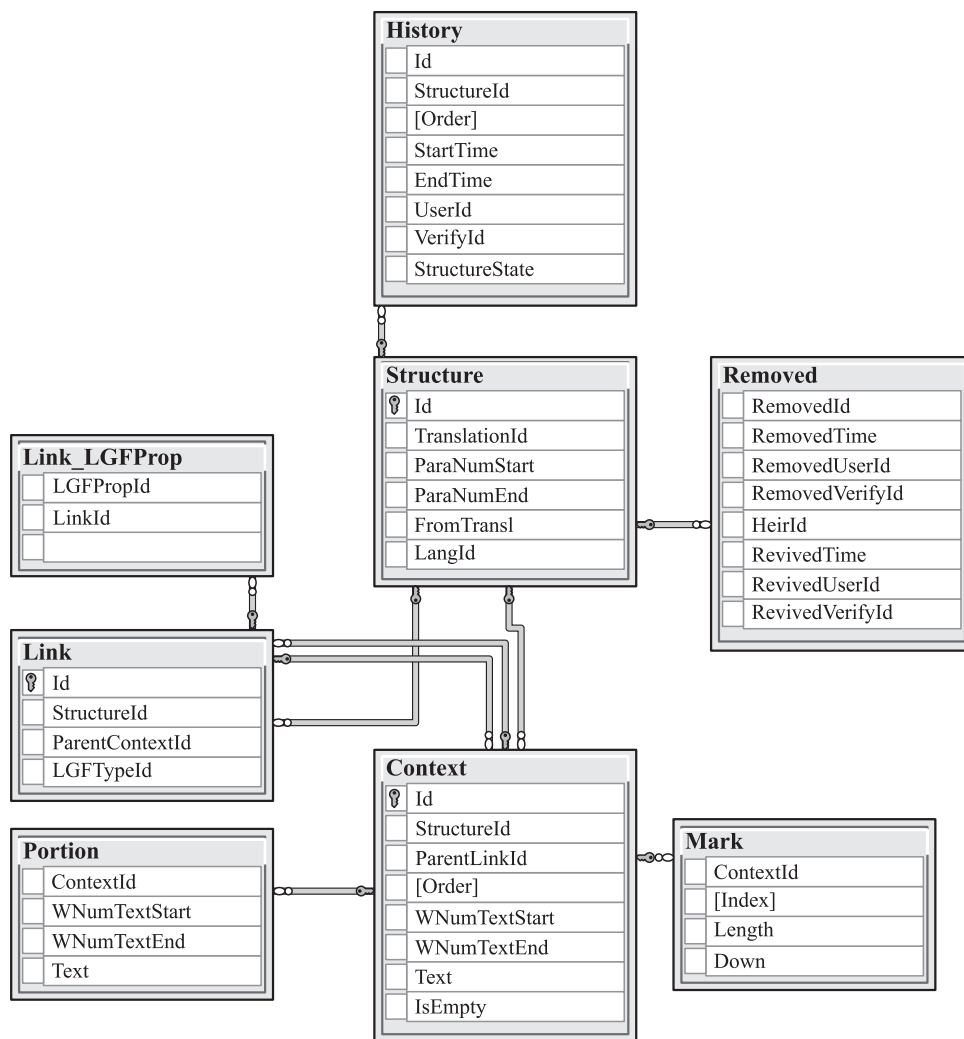


Рис. 3 Таблицы НБДИ ЛСО и отношения между ними

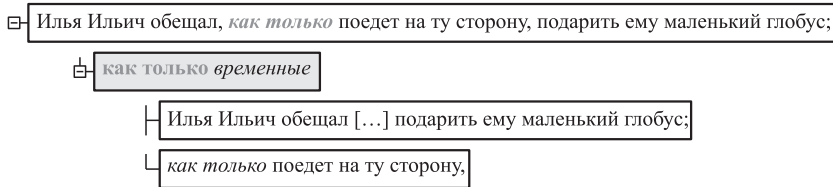
коннектора (встраиваемый или встроенный). Таблица **Portion** соответствует отрезкам текста тех Т-узлов, текст которых разделен вставочным фрагментом (рис. 4). Она содержит идентификатор Т-узла, порядковые номера первого и последнего словоупотребления относительно всего текста, а также текст отрезка. Таблица **Link_LGFProp** отображает свойства коннектора, соответствующего некоторому С-узлу. Она содержит идентификатор С-узла, а также идентификатор свойства из кластера «Отношения» в НБДК. В таблице **Removed** содержится

```

<root>
  <structure translation="82" paraNumStart="1483" paraNumEnd="1483" fromTransl="0">
    <context wordStart="15274" wordEnd="15286">
      <text>
        Илья Ильич обещал, как только поедет на ту сторону, подарить ему маленький глобус;
      </text>
      <mark index="3" length="3" down="0"/>
      <mark index="4" length="6" down="0"/>
      <link type="623" code="как только">
        <prop id="138" code="временные"/>
      <context wordStart="15274" wordEnd="15286">
        <text>
          Илья Ильич обещал [...] подарить ему маленький глобус;
        </text>
        <portion wordStart="15274" wordEnd="15276">Илья Ильич обещал</portion>
        <portion wordStart="15283" wordEnd="15286">подарить ему маленький глобус;</portion>
      </context>
      <context wordStart="15277" wordEnd="15282">
        <text>как только поедет на ту сторону,</text>
        <mark index="0" length="3" down="1"/>
        <mark index="1" length="6" down="1"/>
      </context>
      </link>
    </context>
  </structure>
</root>

```

(а)



(б)

Рис. 4 Контекст с пропуском в формате XML (а) и в виде, доступном пользователю (б)

информация о деревьях, удаленных из НБДИ ЛСО. Она содержит выведенный из употребления идентификатор удаленного дерева, дату и время удаления, идентификатор пользователя из НБДК, удалившего дерево. Если дерево было восстановлено, хранятся также новый идентификатор восстановленного дерева, дата и время восстановления и идентификатор восстановившего дерево пользователя из НБДК. Наконец, таблица **History** содержит информацию обо всех состояниях всех деревьев. Строка этой таблицы содержит идентификатор (для удаленных деревьев — бывший идентификатор) дерева, порядковый номер (хронологически) данного состояния дерева, дату и время возникновения данного состояния, дату и время прекращения данного состояния (если это не текущее состояние дерева), идентификатор создавшего данное состояние пользователя


```

<root>
  <structure translation="158" paraNumStart="2765" paraNumEnd="2765" fromTransl="0">
    <context wordStart="18699" wordEnd="18711">
      <text>
        Не то чтобы меня выбросили из ресторана. Я выполз сам, окутанный драпировочной тканью.
      </text>
      <mark index="0" length="2" down="0"/>
      <mark index="1" length="2" down="0"/>
      <mark index="2" length="5" down="0"/>
      <link type="599" code="не то чтобы||0">
        <prop id="217" code="замещение"/>
        <context wordStart="18699" wordEnd="18705">
          <mark index="0" length="2" down="1"/>
          <mark index="1" length="2" down="1"/>
          <mark index="2" length="5" down="1"/>
          <text>Не то чтобы меня выбросили из ресторана.</text>
        </context>
        <context wordStart="18706" wordEnd="18711">
          <text>Я выполз сам, окутанный драпировочной тканью.</text>
        </context>
      </link>
    </context>
  </structure>
</root>
    
```

Рис. 5 Пример отображения состояния дерева в таблице **History**

из НБДК, а также состояние дерева (хранится в поле типа NVARCHAR, где содержится текст в формате XML с полной информацией обо всех узлах дерева в соответствующий период времени) (рис. 5).

Необходимо заметить, что технически таблица **History** не связана внешним ключом с таблицей **Structure**, поскольку ее поле **StructureId** может содержать не только идентификатор существующей строки таблицы **Structure**, но также и идентификатор ранее удаленной из этой таблицы строки. Наличие в таблице **Context** внешнего ключа к таблице **Link** (поле **ParentLinkId**) одновременно с наличием в таблице **Link** внешнего ключа к таблице **Context** (поле **ParentContextId**) обусловлено структурой дерева, где Т-узел (кроме корневого) непосредственно подчинен С-узлу, а С-узел, наоборот, Т-узлу. Кроме того, в приведенной схеме не отражены связи таблиц с БДТ (поля **TranslationId** и **LangId** в таблице **Structure**) и НБДК (поле **LGFTypeId** в таблице **Link**; поле **LGFPPropId** в таблице **Link_LGFProp**; поля **RemovedUserId**, **RemovedVerifyId**, **RevivedUserId** и **RevivedVerifyId** в таблице **Removed**; поля **UserId** и **VerifyId** в таблице **History**).

На рис. 5 атрибуты элемента **structure** соответствуют полям таблицы **Structure**, атрибуты элемента **context** — таблицы **Context**, а атрибуты элемента **link** — таблицы **Link**. Кроме того, атрибуты элементов **mark**, подчиненные элементам **context**, соответствуют полям таблицы **Mark**, а атрибуты элементов **prop**, подчиненные элементам **link** — полям таблицы **Link_LGFProp**. Наконец,

текстовые узлы элементов **text**, подчиненных элементам **context**, содержат тексты из таблицы **Context**.

На рис. 4, а приведен пример дерева в формате XML, содержащего контекст с пропуском. Это обстоятельство отображается наличием элементов **portion**, непосредственно подчиненных соответствующему элементу **context**. Атрибуты этих элементов соответствуют полям таблицы **Portion**. На рис. 4, б приводится пример этого дерева в том виде, в котором оно доступно пользователю. Место вставного элемента в контексте с пропуском обозначено квадратными скобками с многоточием.

4 Заключение

Описанный в настоящем исследовании новый лингвистический ресурс имеет явные преимущества перед существующими. В самом общем виде предоставляемые лингвистам новые возможности можно сформулировать следующим образом:

- хранить полученную информацию, причем как для русского языка (языка оригинального текста), так и для языков перевода в виде двуязычной аннотации;
- изменять аннотируемые контексты (в частности, создавать контексты с пропущенными фрагментами), а также работать в пустыми контекстами;
- добавлять при необходимости отсутствующие в лежащей в основе аннотирования классификации отношения;
- отражать предыдущие состояния дерева отношений.

Литература

1. *Carlson L., Marcu D.* Discourse tagging reference manual. — Marina del Rey, CA, USA: University of Southern California, 2001. Technical Report ISI-TR-545. 87 p. <https://www.isi.edu/~marcu/discourse/tagging-ref-manual.pdf>.
2. *Reese B., Hunter J., Asher N., Denis P., Baldridge J.* Reference manual for the analysis and annotation of rhetorical structure (version 1.0). — Austin, TX, USA: University of Texas, 2007. Technical Report. 26 p. discor_manual.pdf (juliejhunter.com).
3. The Penn Discourse Treebank 3.0 Annotation Manual. — PDTB Research Group, 2019. 81 p. doi: 10.35111/qebf-gk47. <https://catalog ldc.upenn.edu/docs/LDC2019T05/PDTB3-Annotation-Manual.pdf>.
4. *Mann W., Thompson S.* Rhetorical structure theory: Towards a functional theory of text organization // *Text*, 1988. Vol. 8. Iss. 3. P. 243–281. doi: 10.1515/text.1.1988.8.3.243.
5. *O'Donnell M.* RST-tool: An RST analysis tool // 6th European Workshop on Natural Language Generation Proceedings. — Duisburg, Germany: Gerhard-Mercator University, 1997. 5 p.

6. *O'Donnell M.* RSTTool 2.4: A markup tool for rhetorical structure theory // 1st Conference (International) on Natural Language Generation Proceedings. — Mitzpe Ramon, Izrael, 2000. Vol. 14. P. 253–256. doi: 10.3115/1118253.1118290.
7. *Gessler L., Liu J., Zeldes A.* A discourse signal annotation system for RST trees // Discourse Relation Parsing and Treebanking Proceedings. — Minneapolis, MN, USA: Association for Computational Linguistics, 2019. P. 56–61. doi: 10.18653/v1/W19-2708.
8. *Taboada M., Mann W. C.* Rhetorical structure theory: Looking back and moving ahead // *Discourse Stud.*, 2006. Vol. 8. Iss. 3. P. 423–459.
9. *Martin J. R.* Types of structure: Deconstructing notions of constituency in clause and text // *Computational and conversational discourse* / Eds. E. H. Hovy, D. R. Scott. — NATO ASI ser. F: Computer and systems sciences. — Berlin, Heidelberg: Springer, 1996. Vol. 151. P. 39–66. doi: 10.1007/978-3-662-03293-0.2.
10. *Инькова О. Ю.* Логико-семантические отношения: проблемы классификации // *Связность текста: Мереологические логико-семантические отношения* / О. Инькова, Э. Манзотти. — М.: Языки славянских культур, 2019. С. 11–98.
11. *Skoufaki S.* Rhetorical Structure Theory and coherence break identification // *Text Talk*, 2020. Vol. 40. Iss. 1. P. 99–124.
12. *Inkova O., Popkova N.* Statistical data as information source for linguistic analysis of Russian connectors // *Информатика и её применения*, 2017. Т. 11. Вып. 3. С. 123–131.
13. *Кружков М. Г.* Информационные ресурсы контрастивных лингвистических исследований: электронные корпуса текстов // *Системы и средства информатики*, 2015. Т. 25. № 2. С. 140–159.
14. *Кружков М. Г.* Концепция построения надкорпусных баз данных // *Системы и средства информатики*, 2021. Т. 31. № 3. С. 101–112.
15. *Инькова-Манзотти О. Ю.* Коннекторы противопоставления во французском и русском языках: сопоставительное исследование. — М.: Информэлектро, 2001. 434 с.

Поступила в редакцию 14.02.22

DATABASE OF HIERARCHIES OF LOGICAL-SEMANTIC RELATIONS: ARCHITECTURE

A. A. Durnovo¹, O. Yu. Inkova^{1,2}, and N. A. Popkova¹

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

²University of Geneva, 22 Bd des Philosophes, CH-1205 Geneva 4, Switzerland

Abstract: The paper presents the architecture of a new linguistic resource: the Supracorpora database reflecting hierarchies of logical-semantic relations that ensure the text coherence. Annotations in the database are in the form of trees or, rather, arborescences, where vertices contain data while edges represent the subordination between vertices. Each tree vertex corresponds to either a context

or a connector; the connectors in the text are marked. The authors describe the relationships between the database tables and trees as well as their properties. The paper also demonstrates the differences between this new resource and the existing ones, in particular, the graphs of rhetorical relations created within the framework of the rhetorical structure theory: the ability to store data, to modify the annotated contexts, to work with empty contexts, and to reflect previous states of all the trees.

Keywords: supracorpora database; corpus of texts' annotation; graph; discourse relations; connector

DOI: 10.14357/08696527220111

Acknowledgments

The research was carried out using the infrastructure of the Shared Research Facilities “High Performance Computing and Big Data” (CKP “Informatics”) of FRC CSC RAS (Moscow) and supported by the Switzerland–Russia Research Preparation Grant “Annotation methodology in a supracorpora database of connectives” of the State Secretariat for Education, Research, and Innovation.

References

1. Carlson, L., and D. Marcu. 2001. Discourse tagging reference manual. Technical Report ISI-TR-545. 87 p. Available at: <https://www.isi.edu/~marcu/discourse/tagging-ref-manual.pdf> (accessed February 14, 2022).
2. Reese, B., J. Hunter, N. Asher, P. Denis, and J. Baldridge. 2007. Reference manual for the analysis and annotation of rhetorical structure (version 1.0). Austin, TX: University of Texas. Technical Report. 26 p. Available at: discor_manual.pdf (juliejhunter.com) (accessed February 14, 2022).
3. PDTB Research Group. 2019. The Penn Discourse Tree-bank 3.0 Annotation Manual. 81 p. doi: 10.35111/qebf-gk47. Available at: <https://catalog ldc.upenn.edu/docs/LDC2019T05/PDTB3-Annotation-Manual.pdf> (accessed February 14, 2022).
4. Mann, W., and S. Thompson. 1988. Rhetorical structure theory: Towards a functional theory of text organization. *Text* 8(3):243–281. doi: 10.1515/text.1.1988.8.3.243.
5. O'Donnell, M. 1997. RST-tool: An RST analysis tool. *6th European Workshop on Natural Language Generation Proceedings*. Duisburg, Germany: Gerhard-Mercator University. 5 p.
6. O'Donnell, M. 2000. RSTTool 2.4: A markup tool for rhetorical structure theory. *1st Conference (International) on Natural Language Generation Proceedings*. Mitzpe Ramon, Izrael. 14:253–256. doi: 10.3115/1118253.1118290.
7. Gessler, L., J. Liu, and A. Zeldes. 2019. A discourse signal annotation system for RST trees. *Discourse Relation Parsing and Treebanking Proceedings*. Minneapolis, MN: Association for Computational Linguistics. 56–61. doi: 10.18653/v1/W19-2708.
8. Taboada, M., and W. Mann. 2006. Rhetorical structure theory: Looking back and moving ahead. *Discourse Stud.* 8(3):423–459.

9. Martin, J. R. 1996. Types of structure: Deconstructing notions of constituency in clause and text. *Computational and conversational discourse*. Eds. E. H. Hovy and D. R. Scott. NATO ASI ser. F: Computer and systems sciences. Berlin, Heidelberg: Springer. 151:39–66. doi: 10.1007/978-3-662-03293-0_2.
10. Inkova, O. Yu. 2019. Logiko-semanticheskie otnosheniya: Problemy klassifikatsii [Logical-semantic relations: Classification problems]. *Svyaznost' teksta: mereologicheskie logiko-semanticheskie otnosheniya* [Text coherence: Mereological logical semantic relations]. O. Inkova and E. Manzotti. Moscow: LRC Publishing House. 11–98.
11. Skoufaki, S. 2020. Rhetorical structure theory and coherence break identification. *Text Talk* 40(1):99–124.
12. Inkova, O., and N. Popkova. 2017. Statistical data as information source for linguistic analysis of Russian connectors. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 11(3):123–131.
13. Kruzhkov, M. 2015. Informatsionnye resursy kontrastivnykh lingvisticheskikh issledovaniy: elektronnye korpusa tekstov [Information resources for contrastive studies: Electronic text corpora]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* (25) 2:140–159.
14. Kruzhkov, M. 2021. Kontseptsiya postroeniya nadkorpusnykh baz dannykh [Conceptual framework for supracorpora databases]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 31(3):101–112.
15. Inkova-Manzotti, O. Yu. 2001. *Konnektory protivopostavleniya vo frantsuzskom i russkom yazykakh: sopostavitel'noe issledovanie* [Connectors of opposition in French and Russian: A comparative study]. Moscow: Informelektro. 434 p.

Received February 14, 2022

Contributors

Durnovo Aleksandr A. (b. 1949) — leading programmer, 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; duralex49@mail.ru

Inkova Olga Yu. (b. 1965) — Doctor of Science in philology, senior scientist, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; faculty member, University of Geneva, 22 Bd des Philosophes, CH-1205 Geneva 4, Switzerland; olyainkova@yandex.ru

Popkova Nataliia A. (b. 1992) — junior 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; natasha_popkova@mail.ru

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КАПИТАЛЬНЫХ И ОПЕРАЦИОННЫХ ЗАТРАТ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*А. П. Сучков*¹

Аннотация: Информационные системы специального назначения, т. е. системы в области обеспечения обороноспособности, правопорядка и безопасности, не предназначены для получения доходов в денежной форме. Поэтому оценка эффективности капитальных и операционных затрат с использованием значений прибыли и валового дохода в этом случае невозможна. Тем не менее перед государственным и функциональным заказчиками, а также перед эксплуатирующей организацией стоит задача объективной оценки эффективности затрат в той или иной форме. В связи с этим для оценки эффективности капитальных и операционных затрат применительно к таким видам систем необходимо определить подходы к этой оценке на основе учета потребительских свойств информационной системы на всех стадиях ее жизненного цикла (ЖЦ). Предложены методы расчета эффективности с учетом степени реализации системных требований и процессов достижения целей информационной системы.

Ключевые слова: информационная система; жизненный цикл; капитальные затраты; операционные затраты; показатель эффективности

DOI: 10.14357/08696527220112

1 Введение

Капитальные и операционные затраты — два основных вида затрат на всех этапах ЖЦ систем, в том числе и информационных. Капитальные затраты относятся к стадиям замысла, разработки и производства информационной системы (далее — Системы). Операционные же затраты осуществляются в ходе применения Системы, т. е. ее промышленной эксплуатации.

Стоимость разработки определяется стоимостью проведения научных исследований по замыслу Системы, а также опытно-конструкторских работ (ОКР) по ее созданию. Для оценки стоимости разработки используются регламентирующие федеральные и отраслевые нормативные документы [1]. Стоимость производства учитывается при определении стоимости ЖЦ Системы лишь в случае тиражирования типовых аппаратно-программных комплексов, разработанных в рамках

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

предыдущей ОКР. Такая ситуация характерна для условий развертывания Системы, когда тиражируются принятые при ее разработке решения по аппаратным и программным средствам. Стоимость производства определяется на основе издержек завода-изготовителя и включает оптовые цены закупаемых элементов и затраты на монтажные и наладочные работы.

Эффективность капитальных затрат характеризуется коэффициентом экономической эффективности:

$$K_э = \frac{\Pi}{Z_{\text{общ}}},$$

где Π — прибыль за год; $Z_{\text{общ}}$ — общие капитальные затраты. Нормативные значения коэффициента эффективности капитальных затрат для различных отраслей установлены Приказом Минстроя РФ № 209 от 14.09.1992. В частности, для систем информатизации и связи этот коэффициент составляет 0,15.

Операционные затраты включают следующие виды затрат:

- на авторское сопровождение;
- техническое обслуживание и ремонт;
- электроэнергию;
- содержание персонала;
- аренду каналов связи;
- ремонт и эксплуатацию инженерных сооружений;
- обучение пользователей и ИТ-персонала и пр.

Как правило, рассчитывается среднегодовая стоимость эксплуатации.

Эффективность операционных затрат характеризуется коэффициентом операционных расходов (КОР), который рассчитывается по формуле:

$$\text{КОР} = \frac{\text{ОР}}{\text{ВД}} \cdot 100\%,$$

где ОР — операционные расходы; ВД — валовый доход. Этот показатель определяет процент от доходов, который идет на обеспечение функционирования системы.

Если рассматривать информационные системы специального назначения, т. е. системы в области обеспечения обороноспособности, правопорядка и безопасности, то они не предназначены для получения доходов в денежной форме, а значит, оценка эффективности капитальных и операционных затрат с использованием значений прибыли и валового дохода невозможна. Тем не менее перед государственным и функциональным заказчиками, а также перед эксплуатирующей организацией стоит задача объективной оценки эффективности затрат в той или иной форме.

Исходя из этого, представляется, что для оценки эффективности капитальных и операционных затрат применительно к таким видам систем необходимо определить подходы к этой оценке на основе учета потребительских свойств информационной системы на всех стадиях ее ЖЦ.

2 Характеристики потребительских свойств информационной системы

Оценить эффективность капитальных и операционных затрат при планировании ЖЦ разрабатываемых компонент Системы по классической формуле расчета соотношения полученной прибыли (дохода) к общим затратам не представляется возможным, поэтому необходимо осуществить оценку степени реализации требуемых потребительских свойств Системы на различных стадиях ее ЖЦ. В соответствии с ГОСТ ИСО/МЭК/ИИРЭ 24748-1 типичные стадии ЖЦ системы включают замысел, разработку, производство, применение, поддержку и выведение из эксплуатации. На рис. 1 отражен ход затрат при реализации процессов ЖЦ Системы.

Характеристика потребительских свойств Системы осуществляется как путем их перечисления, так и их ранжированием по степени важности. В качестве основы для анализа используем классификацию угроз, предложенную для оценки реализуемости одной из комплексных научно-технических программ, подготовленных ФИЦ ИУ РАН [2] (далее — Программа). Классификация основных угроз выполнена по трем критериям: внутренним и внешним угрозам, стадиям ЖЦ Программы, категориям риска (рис. 2).

Основные потребительские свойства Системы формируются на стадии замысла.

Во-первых, это задание совокупности целей для Системы, которая и обеспечивает целесообразность ее функционирования. В отношении состава, структуры и содержания совокупности целей можно высказать следующие соображения.

1. Цели многоуровневой Системы определяются внешними нормативно-правовыми документами, регламентирующими ее функционирование, и, как

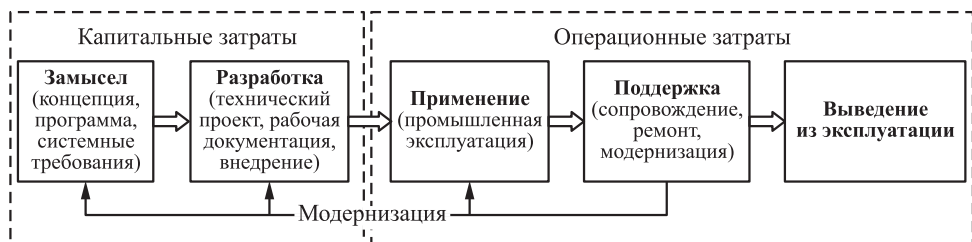


Рис. 1 Затраты в ходе ЖЦ Системы

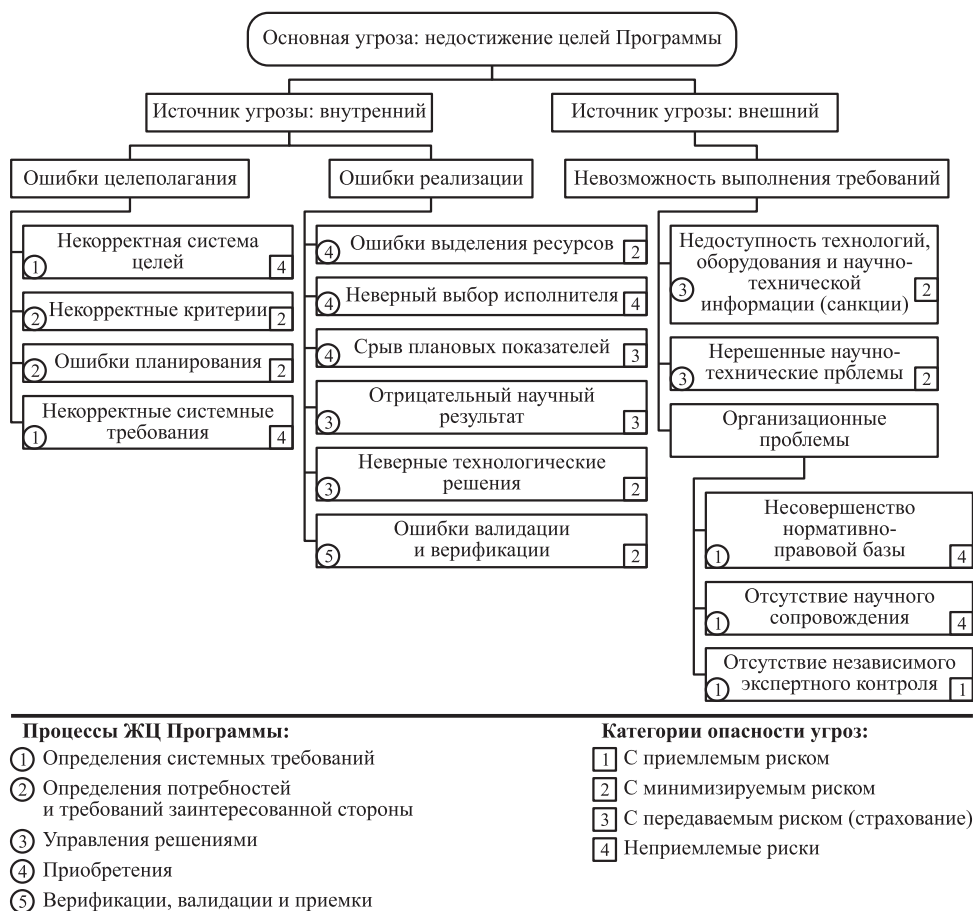


Рис. 2 Классификатор основных групп угроз Программы

правило, образуют иерархическую структуру в соответствии со структурой организации и направлений ее деятельности.

2. В концепции «управления по целям» эффективность целеполагания проверяется по следующим критериям [3]:

- конкретность, определенность;
- измеримость (подразумевает количественную измеримость результата);
- достижимость (должна быть выполнимой);
- реалистичность (достижение цели должно быть обеспечено ресурсами);
- привязанность к точке/интервалу времени.

Обычно цели функционирования Системы задаются в виде совокупности целевых показателей и индикаторов. Данный подход накладывает требования на атрибуты целей в части формирования количественных характеристик: единицы измерения, формула вычисления, целевые значения, критерии и сроки их достижения.

Во-вторых, потребительские свойства Системы определяются в виде системных требований, разрабатываемых на стадии «Замысел». Требования к системе, а также сроки разработки и размеры финансирования определяются правообладателями Системы (государственным и функциональным заказчиками).

Для стадии формирования замысла системные требования формулируются в виде целей и задач, реализуемых в совокупности научно-исследовательских работ (НИР). К типичным задачам НИР относятся:

- разработка перечней функциональных задач;
- исследование возможности их реализации;
- разработка методов их решения;
- апробирование этих методов на макетах и моделях Системы;
- разработка Программы реализации Системы;
- разработка системных требований к Системе (технического задания, ТЗ).

Эффективность капитальных вложений на стадиях разработки определяется степенью реализации требований ТЗ на ОКР. Объем требований со стороны ГОСТ РВ 0015-002-2012 «Государственный военный стандарт. Система разработки и постановки на производство военной техники» составляет:

- 4-й раздел — 59 требований;
- 5-й раздел — 45 требований;
- 6-й раздел — 36 требований;
- 7-й раздел — 225 требований;
- 8-й раздел — 100 требований.

Основными требованиями к Системе являются:

- требования назначения;
- функциональные требования (обычно по функциональным подсистемам);
- требования к аппаратным и программным средствам;
- требования к видам обеспечения;
- требования по защите информации;
- требования к этапам и видам работ;
- требования к документации и др.

На стадии ЖЦ «Производство» требования стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2015, доработанные для применения на предприятиях военной отрасли в виде ГОСТ РВ 0015-002-2020 «Государственный военный стандарт. Система разработки и постановки на производство военной техники», включают в себя:

- анализ и предотвращение рисков;
- обеспечение соответствия выпускаемой продукции требованиям заказчика;
- непрерывное совершенствование производственных процессов;
- разработку и ведение документации по системе менеджмента качества;
- регулярное повышение компетентности персонала;
- охрану государственной тайны.

3 Оценка эффективности капитальных затрат

Таким образом, эффективность капитальных затрат на стадии «Замысел» определяется степенью реализации поставленных задач для НИР.

Зададим параметр степени реализации задачи следующим образом:

$$Z_i = \begin{cases} r_1 & \text{— удовлетворительно;} \\ r_2 & \text{— хорошо;} \\ r_3 & \text{— отлично,} \end{cases}$$

где $i = 1, \dots, N$, N — число задач. Шкала баллов r_j выбирается путем экспертного оценивания, $1 \leq r_1 \leq r_2 \leq r_3$, причем неудовлетворительной оценки быть не может, так как это означает невыполнение пункта ТЗ. Тогда показатель эффективности $\Pi_{\text{эф}}^3$ капвложений на этой стадии составляет:

$$\Pi_{\text{эф}}^3 = \frac{\sum_{i=1}^N \lambda_i Z_i}{r_3} \cdot 100\%, \quad \frac{r_1}{r_3} \cdot 100\% \leq \Pi_{\text{эф}}^3 \leq 100\%, \quad (1)$$

где λ_i — весовые коэффициенты, отражающие вклад каждого системного требования, $\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$.

Как правило, оценка степени реализации пунктов ТЗ и системных требований осуществляется на приемочных испытаниях. При наличии в системном требовании подразделов в качестве оценки степени его реализации можно выбрать либо минимальную оценку по его подразделам или их среднее арифметическое.

Аналогично (1) рассчитывается показатель эффективности $\Pi_{\text{эф}}^P$ капитальных вложений на стадии «Разработка» и показатель эффективности $\Pi_{\text{эф}}^{\Pi}$ капитальных вложений на стадии «Производство» на основе оценки степени реализации системных требований к разрабатываемой Системе.

Таким образом, оценка эффективности капитальных затрат на ранних стадиях ЖЦ Системы представляет собой тройку $(\Pi_{\text{эф}}^3, \Pi_{\text{эф}}^P, \Pi_{\text{эф}}^I)$, которую для целей дальнейшего анализа можно рассматривать как вектор или как его свертку в скаляр.

4 Оценка эффективности операционных затрат

На стадии ЖЦ «Применение» осуществляется реализация целей и задач разработанной Системы по ее назначению, определенных на стадиях «Замысел» и «Разработка». Как уже отмечалось, цели и задачи обычно формализуются в виде измеримых целевых показателей и индикаторов (ЦПИ), их целевых значений и сроков их достижения. Таким образом, предлагается оценивать эффективность операционных затрат на стадии «Применение» в виде изменяющейся во времени степени достижения ЦПИ своих целевых значений в ходе промышленной эксплуатации Системы.

Для определения оценки эффективности операционных затрат введем следующие обозначения:

I_j^K — значение критических индикаторов: 0 — не реализован, 1 — реализован (критический индикатор отражает событие, без которого цели Системы не могут быть реализованы), $1 \leq j \leq n_1$;

$I_k^H(t)$ — некритичный индикатор, $0 < I_k^H \leq 1$ (индикатор, который может реализовываться последовательно во времени и не влияет критично на цели Системы), $1 \leq k \leq n_2$;

$C_l(t)$ — текущее значение количественного целевого l -го показателя с целевым плановым значением $C_l^*(t)$, которого необходимо достигнуть к планируемому сроку, $1 \leq l \leq n_3$.

Обычно планируемые значения ЦПИ задаются в дискретные моменты планируемого периода, т. е. $t = t_1, \dots, t_r$.

Предлагается показатель эффективности операционных затрат на стадии «Применение» $\Pi_{\text{эф}}^{\ominus}$ в каждый контролируемый момент текущего времени t рассчитывать как приведенное к процентному измерению произведение значений критических индикаторов на декартово расстояние приведенных к 1 значений вектора остальных ЦПИ до множества их целевых значений:

$$\Pi_{\text{эф}}^{\ominus}(t) = \prod_{j=1}^{n_1} (I_j^K) \left(1 - \sqrt{\frac{\sum_1^{n_2} (1 - I_k^H(t))^2 + \sum_1^{n_3} (1 - c_l(t)/c_l^*(t))^2}{n_2 + n_3}} \right) \cdot 100\%,$$

$$0\% \leq \Pi_{\text{эф}}^{\ominus}(t) \leq 100\%.$$

Произведение значений критичных индикаторов обеспечивает учет их обязательной реализации. Таким образом, $\Pi_{\text{эф}}^{\text{Э}}(t)$ отражает текущее состояние процесса достижения Системой целевых плановых значений ЦПИ в процентах, что позволяет оценивать текущую оценку эффективности операционных затрат в процессе эксплуатации Системы. Очевидно, что помимо декартова расстояния можно выбрать и другие метрики, например взвешенную сумму отдельных оценок для каждого ЦПИ.

Оценки показателя эффективности операционных вложений на стадии «Поддержка» (сопровождение, ремонт, модернизация) также определяются степенью реализации требований ТЗ на ОКР, определяющих:

- виды работ и планирование сервисного обслуживания;
- взаимодействие сторон (заказчик, эксплуатирующая организация, сервисная организация, военное представительство);
- порядок контроля и приемки работ;
- отчетность;
- режим соблюдения секретности.

Расчет этого показателя осуществляется на основе оценки степени выполнения этих требований аналогично расчетам эффективности капитальных затрат по формуле (1).

Анализ показателей эффективности капитальных и операционных затрат позволяет осуществлять текущее управление качеством проводимых работ или даже выявить необходимость модернизации Системы, потребность в которой может возникнуть на стадиях «Применения» и «Поддержки». Если вернуться к классификации угроз (см. рис. 2), то можно перечислить возможные причины необходимости такой модернизации, в частности ими могут быть выявление недостатков на стадиях «Замысла», «Производства», «Применения» и «Поддержки», выявление неразрешимых научно-технических проблем, санкции, появление нового функционала, устаревание оборудования и т. п. При этом может осуществляться возврат на любую предыдущую стадию, включая формирование замысла системы. Оценку эффективности капитальных и операционных затрат на модернизацию в этом случае необходимо осуществлять по предложенной методике, но с учетом только новых системных требований и изменений в системе ЦПИ и их планировании.

5 Примеры расчета показателей эффективности

Для стадии «Разработка» в качестве примера расчета эффективности капитальных затрат рассмотрим перспективную ОКР «Разработка ИАС для создания и ведения единой XML-модели онтологии ядра и доменов предметной области государственных данных для обеспечения в перспективе автоматического бесшовного информационного взаимодействия в рамках СРСЦ».

Таблица 1 Варианты расчета показателя эффективности для ОКР

Задачи ОКР	λ_i	Z_i		
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
1. Создание информационно-технологического портала для формирования и ведения XML-модели онтологий ядра и доменов предметной области государственных данных СРСЦ	1/6	1	3	2
2. Разработка подсистемы ИАС по автоматизированному созданию информационной XML-модели онтологий доменов предметной области	1/6	1	3	3
3. Формирование XML-модели онтологии ядра предметной области СРСЦ	1/6	1	3	2
4. Формирование XML-модели онтологий выбранных доменов предметной области СРСЦ	1/6	1	3	1
5. Разработка программных инструментальных средств и технологий миграции данных из существующих систем	1/6	1	3	3
6. Разработка проектов нормативно-правовых актов, регулирующих создание и функционирование организационной структуры	1/6	1	3	2
Показатель эффективности $\Pi_{\text{эф}}^3$		33,3%	100%	72,2%

Оценки показателя эффективности $\Pi_{\text{эф}}^P$ выполнения ОКР для различных вариантов оценки результатов решения задач НИР приведены в табл. 1. Зададим параметр степени реализации системных требований следующим образом:

$$Z_i = \begin{cases} 1 & \text{— удовлетворительно;} \\ 2 & \text{— хорошо;} \\ 3 & \text{— отлично,} \end{cases}$$

где $i = 1, \dots, 6$.

Весовые коэффициенты выберем равными $1/6$.

Для оценки эффективности операционных затрат на стадии «Применение» (промышленная эксплуатация) необходимо систематизировать ЦПИ данной системы и задать тестовые значения (табл. 2).

Тестовые значения иллюстрируют увеличение показателя эффективности при достижении одним из ЦП своего целевого значения (100%).

Таблица 2 Систематизация ЦПИ и оценки показателя эффективности операционных затрат

ЦПИ	Вид	Значения	Тестовые значения 1	Тестовые значения 2
Принятие Постановления Правительства РФ и иных нормативных правовых актов, регулирующих вопросы создания единой модели данных (ЕМД) на федеральном уровне в рамках Национальной системы управления данными	I_1^K	0,1 $n_1 = 1$	1	1
Внесение изменений в нормативные правовые акты федерального уровня в связи с принятием Постановления Правительства РФ, регулирующего порядок создания, ведения, изменения и применения ЕМД ее доменных составляющих	I_1^H	0–1 $n_2 = 3$	0,5	0,5
Создание информационного портала ЕМД для организации коллективной работы, поддержания методологической базы и обучения экспертов, разработчиков и потребителей	I_2^H	0–1	0,5	0,5
Формирование перечня доменов верхней онтологии МВИВ и реестра информационных ресурсов, подключаемых к ЕМД	I_3^H	0–1	0,5	0,5
Доля охвата доменов верхней онтологии МВИВ, интегрированных в ЕМД	C_1	1%–100% $n_3 = 4$	50%	100%
Доля охвата базовых информационных ресурсов и соответствующих производных государственных информационных ресурсов федерального уровня, интегрированных в ЕМД	C_2	1%–100%	50%	50%
Доля охвата базовых государственных информационных ресурсов и соответствующих производных государственных информационных ресурсов регионального уровня, интегрированных в ЕМД	C_3	1%–100%	50%	50%
Доля информационных транзакций с использованием ЕМД среди всех транзакций с государственными данными	C_4	1%–100%	50%	50%
Показатель эффективности $P_{эф}^{\ominus}$			50%	54%

Литература

1. Отраслевой стандарт: Автоматизированная система управления предприятием: Создание системы: Нормативы трудоемкости: ОСТ 4.071.030. 24 с. <https://studylib.ru/doc/2362849/ost-4.071.030-sozdanie-sistemy.-normativy>.

2. *Зацаринный А. А., Сучков А. П.* Угрозы и риски реализации комплексных научно-технических программ в рамках приоритетов стратегии научно-технологического развития России // Системы и средства информатики, 2020. Т. 30. № 3. С. 98–113.
3. *Doran G. T.* There's a S.M.A.R.T. way to write management's goals and objectives // *Manag. Rev.*, 1981. Vol. 70. Iss. 11. P. 35–36.

Поступила в редакцию 14.09.21

EFFICIENCY EVALUATION OF CAPITAL AND OPERATING COSTS IN THE PLANNING OF THE SPECIAL-PURPOSE INFORMATION SYSTEMS LIFE CYCLE

A. P. Suchkov

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

Abstract: Special-purpose information systems, i. e., systems in the field of ensuring defense capability, law enforcement, and security are not designed to generate income in monetary form, i. e., it is impossible to assess the effectiveness of capital and operating costs using profit and gross income values. Nevertheless, the state and functional customers as well as the operating organization face the task of objectively evaluating the cost effectiveness in one form or another. In this regard, to assess the effectiveness of capital and operating costs in relation to such types of systems, it is necessary to determine approaches to this assessment based on taking into account the consumer properties of an information system at all stages of its life cycle. The methods of calculating efficiency are proposed taking into account the degree of implementation of system requirements and processes for achieving the goals of the information system.

Keywords: information system; life cycle; capital costs; operating costs; efficiency indicator

DOI: 10.14357/08696527220112

References

1. OST 4.071.030. 2004. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya predpriyatiem. Sozdanie sistemy. Normativy trudoemkosti [Automated control system for the enterprise. System development. Labour input standards]. 24 p. Available at: <https://studylib.ru/doc/2362849/ost-4.071.030-sozdanie-sistemy.-normativy> (accessed April 1, 2022).
2. *Zatsarinny, A. A., and A. P. Suchkov.* 2020. Ugrozy i riski realizatsii kompleksnykh nauchno-tekhnicheskikh programm v ramkakh prioritetov strategii nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossii [Threats and risks of implementing complex scientific

and technical programs within the priorities of the russian science and technology development strategy]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 30(3):98–113.

3. Doran, G.T. 1981. There's a S.M.A.R.T. way to write management's goals and objectives. *Manag. Rev.* 70(11):35–36.

Received September 14, 2021

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

ДОРАБОТКА ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ПЛАТФОРМЫ OpenFOAM В ЧАСТИ РАСШИРЕНИЯ ПЕРЕЧНЯ УТИЛИТ ДЛЯ РАБОТЫ С РАСЧЕТНЫМИ СЕТКАМИ

*Д. И. Читалов*¹

Аннотация: Настоящее исследование посвящено доработке графической оболочки платформы OpenFOAM для предоставления доступа пользователя к утилите boxTurb, обеспечивающей модификацию расчетной области путем генерации блока турбулентности для заданного энергетического спектра. Работа с утилитой осуществляется на этапе определения исходных параметров численного эксперимента (на этапе препроцессинга), выполняемого для задач механики сплошных сред (МСС), моделируемых на базе платформы OpenFOAM. В рамках доработки графической оболочки подготовлен программный модуль для работы с утилитой boxTurb. Представлен набор инструментов, необходимых для подготовки исходного кода модуля, приведена диаграмма, описывающая механизм его работы. На основе представленного модуля расширен исходный код базовой версии графической оболочки платформы OpenFOAM. Продукт протестирован на примере одной из учебных задач МСС, входящих в дистрибутив платформы OpenFOAM. Приведено описание практической ценности и новизны исследования.

Ключевые слова: численное моделирование; механика сплошных сред; графический интерфейс пользователя; OpenFOAM; язык программирования Python 3.5; открытое программное обеспечение; утилита boxTurb; библиотека PyQt5; СУБД SQLite

DOI: 10.14357/08696527220113

1 Введение

Представленная работа посвящена продолжению исследования, проводимого автором с 2016 г. [1] и направленного на разработку оригинальной графической оболочки, обеспечивающей проведение численных экспериментов на базе платформы OpenFOAM [2]. Это один из ведущих программных комплексов для моделирования задач в области МСС: в вычислительной гидродинамике, аэродинамике и механике деформируемого твердого тела.

В платформе OpenFOAM реализована возможность выполнения всех этапов численного эксперимента: препроцессинга (определение граничных условий и базовых параметров численной модели), решения (запуск процесса численного моделирования посредством одной из программ-решателей), постпроцессинга

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

(визуализация численной модели). Точность эксперимента зависит прежде всего от этапа препроцессинга, на котором определяются исходные параметры моделируемой задачи МСС.

Поскольку платформа OpenFOAM не обладает встроенными графическими средствами для управления численным экспериментом, все шаги препроцессинга — создание служебных директорий и файлов-словарей расчетного случая и заполнение их параметрами — осуществляются через командную строку. При таком подходе существует вероятность создания неверной структуры расчетного случая, а также указания некорректных параметров задачи МСС.

Автором предложена оригинальная графическая оболочка, позволяющая в числе прочего контролировать и этап препроцессинга. Результаты разработки данной графической оболочки приведены в работах [1, 3–5]. Представленное программное приложение может применяться инженерами наряду с существующими программами-аналогами: Salome [6], Helyx-OS [7], Visual-CFD [8]. Несмотря на эффективность и достаточно высокую популярность перечисленных программных средств, они оказались не лишены недостатков, таких как необходимость приобретения лицензии, платная техническая поддержка, отсутствие русскоязычной документации.

Платформа OpenFOAM поддерживает многочисленные утилиты, список которых периодически пополняется, что требует расширения исходного кода предложенной графической оболочки [1] путем разработки программных модулей для работы с данными утилитами. Требуется разработка дополнительных интерфейсных блоков (экранных форм) и программных скриптов.

Настоящая статья описывает результаты разработки и интеграции программного модуля для работы с утилитой boxTurb в базовую версию созданной автором графической оболочки [1]. При этом пользователь должен иметь возможность визуализации результатов применения утилиты. Необходимость решения данной задачи обуславливается потребностями специалистов АО ГРЦ им. Макеева, выполняющих исследования по проблемам ракетно-космической тематики [9].

2 Утилита boxTurb и ее назначение

Утилита boxTurb отвечает за формирование блоков турбулентности для определенного энергетического спектра. Работа с утилитой осуществляется при формировании случайного поля скоростей, используемого в качестве начального условия.

Применение утилиты осуществляется в рамках препроцессинга после генерации основной сеточной модели, построенной, например, с помощью утилиты blockMesh или snappyHexMesh [3, 4]. Благодаря утилите boxTurb достигается уточнение исходной расчетной сетки и повышается точность итогового эксперимента. Результаты применения утилиты (модифицированная расчетная сетка) далее визуализируются посредством пакета ParaView [10].

Турбулентность проявляется в образовании многочисленных нелинейных фрактальных волн при перемещении объектов в различных средах в результате увеличения скорости течения жидкости или газа. Для расчета параметров таких процессов разработаны многочисленные модели турбулентности, интегрированные в различные расчетные программные системы, в том числе в платформу OpenFOAM [2]. Документация пользователя OpenFOAM дает следующую характеристику данной утилите: формирует начальное трехмерное поле потока в соответствии с актуальным пониманием изотропной турбулентности.

Для экспериментов с турбулентностью в OpenFOAM реализованы программы-решатели, выполняющие нестационарный расчет. Как правило, результаты таких экспериментов сохраняются и переводятся обратно в энергетический спектр, сравниваемый с экспериментальными данными. Примером такого эксперимента может служить модель крупных вихрей (LES, large eddy simulation) или модель отсоединенных вихрей (DES, detached eddy simulation).

Параметры блока турбулентности определяются исходя из созданной базовой сеточной модели. Утилита отвечает за генерацию начального поля скорости движения потоков жидкости или газа. Это поле определяется на основе заранее подготовленной сетки. Утилита применима к любым численным экспериментам в области изотропной турбулентности. Под изотропной турбулентностью понимается стационарный процесс, параметры которого стабильны при временных или пространственных изменениях.

3 Постановка целей и задач исследования

Цель описываемого исследования заключается в расширении исходного кода базовой версии графической оболочки [1] путем разработки и интеграции программного модуля для работы с утилитой boxTurb. Данный программный модуль призван обеспечивать формирование блоков турбулентности для определенного энергетического спектра при проведении экспериментов по изучению нелинейных и линейных волн, возникающих в результате увеличения скорости течения жидкостей и газообразных смесей. Утилита описана в документации пользователя OpenFOAM [11] и представлена в некоторых учебных задачах [12].

Автором изучен алгоритм проведения численного моделирования с использованием утилиты boxTurb, требующий предварительного выполнения основного этапа препроцессинга решения — подготовки расчетной сеточной модели с помощью одной из соответствующих утилит: blockMesh, snappyHexMesh, foamQuadMesh или foamHexMesh [3–5]. В текущей версии графической оболочки [1] необходимо расширить возможности программных скриптов, обеспечив доступ пользователя и к запуску утилиты boxTurb. Помимо основных скриптов изменения необходимо внести и в графическую составляющую приложения — добавить соответствующие элементы управления в экранные формы. Также в программе необходимо реализовать защиту от неверных действий пользователя — доступ к утилите должен предоставляться пользователю только на этапе препроцессинга после завершения генерации базовой сеточной модели.

Таким образом, цель исследования состоит в разработке программного модуля, автоматизирующего процесс доработки сеточной модели с помощью утилиты `boxTurb` и в его интеграции в базовую версию графической оболочки `OpenFOAM_GUI`, созданной автором [1]. Для достижения цели необходимо выполнить следующие задачи.

1. Подготовить файлы с исходным кодом скриптов, обеспечивающих запуск утилиты `boxTurb`, входящей в перечень утилит препроцессинга платформы `OpenFOAM`.
2. Интерфейс текущей версии графической оболочки `OpenFOAM_GUI` дополнить соответствующими графическими элементами (компонентами интерфейса).
3. Разработать механизм защиты от неверных действий пользователя при работе с утилитой `boxTurb` на этапе препроцессинга.
4. Интегрировать разработанные скрипты и механизмы в исходный код базовой версии графической оболочки `OpenFOAM_GUI`.

4 Средства разработки

Разработка программного приложения требует выбора стека технологий — набора инструментов, обеспечивающих подготовку исходного кода программного продукта. Рассматриваемый в статье модуль предполагается интегрировать в базовую версию графической оболочки `OpenFOAM_GUI` [1]. Это настольное программное приложение, имеющее многослойную архитектуру. Слой логики реализован с помощью высокоуровневого языка программирования Python 3.5 [13], слой представления — с помощью библиотеки PyQt5 [14], слой хранения данных — на основе встроенного в Python модуля SQLite3 [15].

Автором принято решение продолжить использование представленного стека технологий. Выбор языка Python обусловлен тем, что он занимает высокие позиции в рейтингах. В рейтинге ТЮВЕ по состоянию на сентябрь 2020 г. Python занимает третью позицию, что показывает его популярность среди разработчиков [16]. Кроме того, Python существенно превосходит другие языки программирования по простоте изучения, а его возможности расширяются за счет подключения дополнительных сторонних библиотек.

Библиотека PyQt — не единственное средство проектирования интерфейсов программных продуктов. К аналогам можно отнести Tkinter [17] и Kivy [18]. Выбор PyQt обусловлен наличием подробной документации, а также многочисленного сообщества разработчиков, что упрощает процесс проектирования. Библиотека PyQt позволяет создавать привычные оконные интерфейсы с привлекательным оформлением.

Еще один важный этап подготовки к разработке программного приложения — выбор интегрированной среды разработки (IDE, integrated development environment), обеспечивающей написание, запуск и отладку программного кода. Одной

из наиболее эффективных и популярных IDE является PyCharm, позволяющая не только работать с кодом, но и создавать и запускать unit-тесты, настраивать виртуальное окружение программ [19].

Перечисленный стек технологий предполагается использовать для разработки рассматриваемого программного модуля. Графическая оболочка OpenFOAM_GUI [1], разработанная автором, требует наличия установленной на вычислительном устройстве пользователя платформы OpenFOAM, например версии 6.0 [2], а также пакета визуализации результатов численных экспериментов ParaView [10].

5 Механизм работы модуля

Разработанный модуль генерации блоков турбулентности интегрирован в базовую версию графической оболочки OpenFOAM_GUI [20]. Его применение осуществляется в рамках препроцессинга численного эксперимента. Предварительно необходимо подготовить расчетный случай задачи МСС или выбрать один из существующих. При этом должна быть сгенерирована расчетная сеточная модель, которую далее предполагается доработать с помощью утилиты boxTurb

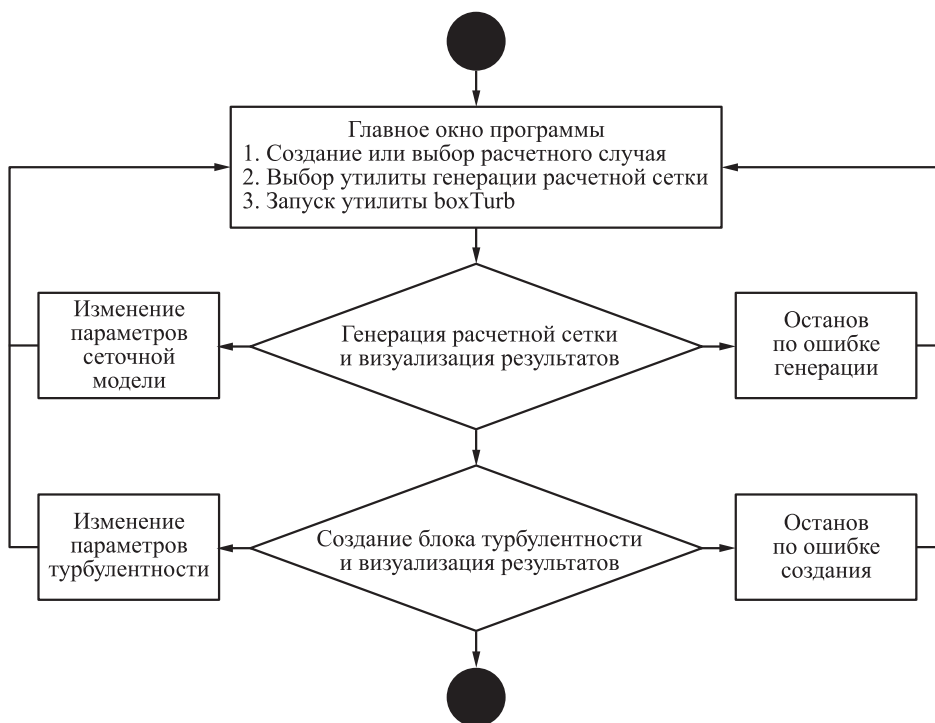


Рис. 1 Механизм работы с модулем создания блока турбулентности

и рассматриваемого программного модуля. На рис. 1 приведена диаграмма, описывающая механизм применения модуля для создания блока турбулентности, соответствующего заданному энергетическому спектру.

После завершения работы утилиты `boxTurb` пользователь может перейти к визуализации полученной сеточной модели на базе пакета ParaView [10]. Кроме того, при необходимости можно внести изменения в существующую сеточную модель и выполнить повторную генерацию, используя утилиты `blockMesh`, `snappyHexMesh`, `foamyQuadMesh` или `foamyHexMesh` [3–5]. Далее работа с параметрами турбулентности может быть продолжена и выполнен повторный запуск утилиты `boxTurb`. Все необходимые шаги по работе с утилитой `boxTurb` осуществляются через главное окно интерфейса графической оболочки. Пакет ParaView запускается в дополнительном окне.

6 Результаты исследования

Итог выполненного автором исследования заключается в расширении исходного кода графической оболочки `OpenFOAM_GUI` за счет интеграции программного модуля для работы с утилитой `boxTurb` [20]. Этот программный модуль отвечает за создание блока турбулентности для определенного энергетического спектра. Утилита применяется на этапе препроцессинга и обеспечивает определе-

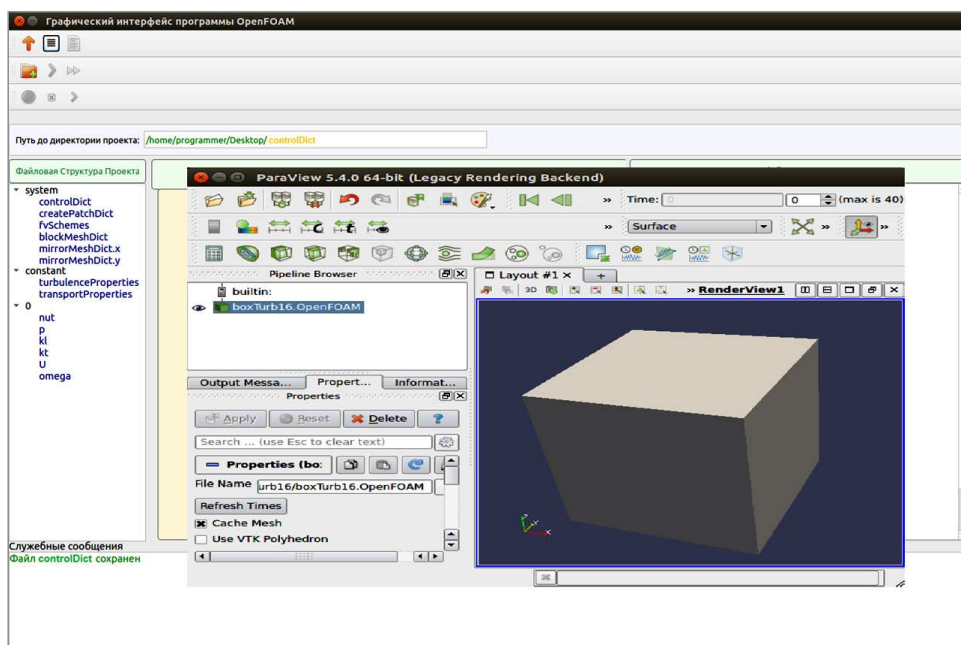


Рис. 2 Пример расчетной сетки после доработки с помощью утилиты `boxTurb`

ние дополнительных параметров расчетной сетки при моделировании задач МСС в области турбулентности. Благодаря утилите `boxTurb` генерируемая расчетная сетка учитывает большее количество исходных условий и параметров моделируемого объекта или процесса и повышает точность создаваемой численной модели.

На рис. 2 приведено изображение сеточной модели, сгенерированной посредством утилиты `blockMesh` и доработанной с помощью утилиты `boxTurb`, т. е. с добавлением блока турбулентности.

7 Заключение

Представленная работа обобщает результаты расширения функциональных возможностей графической оболочки `OpenFOAM_GUI`, созданной автором и предназначенной для постановки численных экспериментов применительно к задачам МСС с помощью платформы `OpenFOAM`. Расширение функциональности заключается в проектировании и разработке программного модуля, обеспечивающего модификацию сеточной модели, генерируемой с помощью одной из стандартных утилит, например `blockMesh` [3].

Модификация расчетной сетки заключается в добавлении блока турбулентности с помощью утилиты `boxTurb` и может выполняться для всех типов задач МСС, численное моделирование которых осуществляется с помощью платформы `OpenFOAM`. Расширение исходного кода графической оболочки `OpenFOAM_GUI` включает разработку скриптов, обеспечивающих запуск утилиты `boxTurb` и проектирование дополнительных графических элементов интерфейса. Автором продолжено использование подходов, представленных в работах [3–5].

1. Разработка экранных форм для всех служебных файлов-словарей расчетных случаев и разработка алгоритмов заполнения этих файлов на основе параметров, передаваемых через формы.
2. Программный запуск утилит платформы `OpenFOAM` путем генерации и запуска `bash`-скриптов, соответствующих утилитам [21].
3. Контроль корректности вводимых пользователем данных за счет валидаторов, привязанных к элементам управления форм.
4. Механизм сериализации параметров задач МСС посредством модуля `Pickle` языка программирования `Python` [22] и с помощью записи параметров в соответствующие таблицы системы управления базами данных (СУБД) формата `SQLite` [15]. Данный механизм предусматривает последующее восстановление параметров и их редактирование и позволяет работать с существующими расчетными случаями и редактировать параметры соответствующих файлов-словарей.
5. Для исключения ошибок в ходе численного эксперимента реализован механизм контроля комплектности файлов-словарей для каждого расчетного

случая. Благодаря данному механизму каждый из этапов численного эксперимента, в том числе препроцессинг, решение и постпроцессинг, могут быть выполнены только после проверки наличия всех необходимых служебных файлов-словарей.

6. Для обеспечения возможности численного моделирования одних и тех же задач МСС, но с разными исходными параметрами предложен и реализован механизм генерации нескольких версий файлов-словарей расчетных случаев. Благодаря этому механизму специалист имеет возможность в пределах одного расчетного случая подготовить различные версии одного и того же служебного файла.

Практическая ценность предложенного программного модуля заключается в экономии рабочего времени инженеров и исследователей. При этом упрощается освоение механизма численного моделирования посредством платформы OpenFOAM, а также минимизируются возможные ошибки численного моделирования.

Для написания исходного кода представленного модуля автором применен стек технологий, включающий язык программирования Python (для описания слоя логики приложения) [13], библиотека PyQt (для описания слоя представления) [14], модули SQLite3 [15] и Pickle [22] (для описания слоя хранения данных). Программный модуль подготовлен с использованием среды разработки PyCharm. Доработанная версия графической оболочки (с интегрированным модулем для работы с утилитой boxTurb) размещена в открытом доступе на сервисе GitHub.

Литература

1. Читалов Д. И., Меркулов Е. С., Калашиников С. Т. Разработка графического интерфейса пользователя для программного комплекса OpenFOAM // Программная инженерия, 2016. Т. 7. Вып. 12. С. 568–574. doi: 10.17587/prin.7.568-574.
2. OpenFOAM. The open source CFD toolbox. <https://www.openfoam.com>.
3. 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.
4. 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.
5. Читалов Д. И., Калашиников С. Т. Разработка приложения для подготовки расчетных сеток с помощью утилиты foamyQuadMesh платформы OpenFOAM // Программная инженерия, 2018. Т. 9. № 7. С. 311–317. doi: 10.17587/prin.9.311-317.
6. SALOME: The open source integration platform for numerical simulation. <https://www.salome-platform.org>.

7. HELYX-OS: Open-source GUI for OpenFOAM. <https://engys.com/products/helyx-os>.
8. VISUAL-CFD. Visual-environment for OpenFOAM: An open source-based enterprise CFD solution. <https://www.esi-group.com/products/computational-fluid-dynamics/visual-environment-for-openfoam>.
9. Государственный ракетный центр им. академика В. П. Макеева. <http://www.makeyev.ru>.
10. ParaView: Open-source, multi-platform data analysis and visualization application. <https://www.paraview.org>.
11. OpenFOAM. User guide. <http://foam.sourceforge.net/docs/Guides-a4/OpenFOAM UserGuide-A4.pdf>.
12. OpenFOAM. Tutorial guide, 2018. <https://www.openfoam.com/documentation/tutorial-guide/index.php>.
13. Python 3.5 documentation. <https://docs.python.org/3.5>.
14. PyQt5 reference guide. <http://pyqt.sourceforge.net/Docs/PyQt5>.
15. SQLite3: DB-API 2.0 interface for SQLite databases. <https://docs.python.org/3/library/sqlite3.html>.
16. TIOBE Index for February 2022. <https://www.tiobe.com/tiobe-index>.
17. Graphical user interfaces with Tk. <https://docs.python.org/3/library/tk.html>.
18. Getting started with kivy // RIP tutorial. <https://riptutorial.com/ru/kivy>.
19. PyCharm: IDE для профессиональной разработки на Python. <https://www.jetbrains.com/ru-ru/pycharm>.
20. OpenFOAM_GUI v. 1.0. https://github.com/DmitryChitalov/OpenFOAM_GUI.
21. Advanced bash-scripting guide. <https://www.tldp.org/LDP/abs/html>.
22. Pickle – Python object serialization. <https://docs.python.org/3/library/pickle.html>.

Поступила в редакцию 04.12.20

IMPROVEMENT OF THE GRAPHICAL INTERFACE OF THE OpenFOAM PLATFORM IN TERMS OF EXPANDING THE LIST OF UTILITIES FOR WORKING WITH COMPUTATIONAL MESHES

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 study is devoted to improving the graphical shell of the OpenFOAM platform to provide the user with access to the boxTurb utility which provides modification of the computational domain by generating a turbulence block for a given energy spectrum. Work with the utility is carried out at the stage of determining the initial parameters of a numerical experiment (at

the preprocessing stage) performed for problems of continuum mechanics (CM) modeled on the basis of the OpenFOAM platform. As a part of the finalization of the graphical shell, a software module has been prepared for working with the boxTurb utility. A set of tools necessary for preparing the source code of the module is presented and a diagram is given that describes the mechanism of its operation. Based on the presented module, the source code of the basic version of the graphical shell of the OpenFOAM platform has been extended. The product has been tested on the example of one of the CM training tasks of the OpenFOAM platform distribution kit. A description of the practical value and novelty of the study is given.

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

DOI: 10.14357/08696527220113

References

1. Chitalov, D. I., Ye. S. Merkulov, and S. T. Kalashnikov. 2016. Razrabotka grafi-cheskogo interfeysa pol'zovatelya dlya programmnoho 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.
2. OpenFOAM. The open source CFD toolbox. Available at: <https://www.openfoam.com> (accessed February 28, 2022).
3. Chitalov, D. I., and S. T. Kalashnikov. 2018. Razrabotka prilozheniya dlya podgotovki raschetnykh setok s graduiruyushchimi i izognutymi krayami dlya programmnoy 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.
4. 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.
5. 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.
6. SALOME: The open source integration platform for numerical simulation. Available at: <https://www.salome-platform.org> (accessed February 28, 2022).
7. HELYX-OS. The market leading open-source GUI for OpenFOAM. Available at: <https://engys.com/products/helyx-os> (accessed February 28, 2022).
8. VISUAL-CFD. Visual-environment for OpenFOAM: An open source-based enterprise CFD solution. Available at: <https://www.esi-group.com/products/computational-fluid-dynamics/visual-environment-for-openfoam> (accessed February 28, 2022).

9. Gosudarstvennyy raketnyy tsentr im. akademika V. P. Makeeva [State Rocket Center named after Academician V. P. Makeev]. Available at: <http://www.makeyev.ru> (accessed February 28, 2022).
10. ParaView: Open-source, multi-platform data analysis and visualization application. Available at: <https://www.paraview.org> (accessed February 28, 2022).
11. OpenFOAM: User guide. Available at: <http://foam.sourceforge.net/docs/Guides-a4/OpenFOAMUserGuide-A4.pdf> (accessed February 28, 2022).
12. OpenFOAM. 2018. Tutorial guide. Available at: <https://www.openfoam.com/documentation/tutorial-guide/index.php> (accessed February 28, 2022).
13. Python 3.5 documentation. Available at: <https://docs.python.org/3.5> (accessed February 28, 2022).
14. PyQt5 reference guide. Available at: <http://pyqt.sourceforge.net/Docs/PyQt5> (accessed February 28, 2022).
15. SQLite3: DB-API 2.0 interface for SQLite databases. Available at: <https://docs.python.org/3/library/sqlite3.html> (accessed February 28, 2022).
16. TIOBE Index for February 2022. Available at: <https://www.tiobe.com/tiobe-index> (accessed February 28, 2022).
17. Graphical user interfaces with Tk. Available at: <https://docs.python.org/3/library/tk.html> (accessed February 28, 2022).
18. Getting started with kivy. *RIP tutorial*. Available at: <https://riptutorial.com/ru/kivy> (accessed February 28, 2022).
19. PyCharm: IDE dlya professional'noy razrabotki na Python [PyCharm: An IDE for professional Python development]. Available at: <https://www.jetbrains.com/ru-ru/pycharm> (accessed February 28, 2022).
20. OpenFOAM GUI v. 1.0. Available at: https://github.com/DmitryChitalov/OpenFOAM_GUI (accessed February 28, 2022).
21. Advanced bash-scripting guide. Available at: <https://www.tldp.org/LDP/abs/html> (accessed February 28, 2022).
22. Pickle — Python object serialization. Available at: <https://docs.python.org/3/library/pickle.html> (accessed February 28, 2022).

Received December 4, 2020

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

ФУНКЦИИ ЭКСПОРТА В ЛЕКСИКОГРАФИЧЕСКИХ БАЗАХ ДАННЫХ*

В. В. Вакуленко¹, А. А. Дурново², И. М. Зацман³

Аннотация: Рассматриваются задачи, функции и основные этапы экспорта в надкорпусных базах данных (НБД) и в базе данных фразеологического словаря (БД ФС), содержащей словарные статьи немецких идиом и их переводов на русский язык. В НБД, содержащей параллельные тексты оригиналов и переводов книг, пользователь в результате экспорта получает каталог интересующих его аннотированных переводных соответствий исследуемых языковых единиц в оригинале и переводе, в БД ФС — массив словарных статей, отобранных по критерию, заданному пользователем. Цель статьи состоит в описании принципов унификации экспорта при формировании массивов словарных статей и создании каталогов аннотированных переводных соответствий.

Ключевые слова: функции экспорта; надкорпусные базы данных; каталог; база данных фразеологического словаря; аннотированные переводные соответствия

DOI: 10.14357/08696527220114

1 Введение

На 1 января 2022 г. в НБД Института проблем информатики ФИЦ ИУ РАН хранились сотни книг и их переводы на пяти языках (русский, английский, французский, немецкий, итальянский) общим объемом более 64 млн словоупотреблений (табл. 1). Цель статьи состоит в описании принципов унификации экспорта из НБД и БД ФС (далее при совместном упоминании — БД) при формировании массивов словарных статей и создании на основе НБД каталогов переводных соответствий исследуемых языковых единиц, аннотированных с использованием текстов этих книг и их переводов. В НБД кроме параллельных текстов оригиналов и переводов книг хранятся и аннотированные переводные соответствия (кратко — аннотации) [1–4].

База данных фразеологического словаря содержит словарные статьи немецких идиом и их переводов на русский язык [5, 6]. С помощью этой базы данных

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

¹Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, vvak@pm.me

²Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, duralex49@mail.ru

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

Таблица 1 Число словоупотреблений в текстах НБД

Направление перевода	Слов оригинала	Слов перевода	Всего слов
Русский–французский	1 715 846	2 361 631	4 077 477
Французский–русский	1 087 189	847 136	1 934 325
Русский–немецкий	4 276 118	5 491 866	9 767 984
Немецкий–русский	8 341 623	7 336 810	15 678 433
Русский–итальянский	1 764 119	2 212 551	3 976 670
Итальянский–русский	484 054	427 070	911 124
Русский–английский	4 212 047	5 574 449	9 786 496
Английский–русский	9 879 768	8 154 164	18 033 932
Итого	31 760 764	32 405 677	64 166 441

планируется помимо подготовки печатного словаря делать доступными в его онлайн-версии отдельные статьи, чтобы дать представление о создаваемом словаре уже во время текущей над ним работы [7]. Создание нового немецко-русского фразеологического словаря необходимо, поскольку существующие лексикографические источники немецких идиом и их переводов на русский язык не отвечают современным требованиям. В настоящее время словарь содержит около 2000 немецких идиом с их вариантами и переводами¹. Отметим, что словарные статьи включают в себя в необходимых случаях подробные комментарии, указывающие на особенности реального использования соответствующих идиом [8, 9]. Чтобы сделать доступными отдельные статьи в онлайн-версии словаря, необходимо в БД ФС иметь функции экспорта.

К основным рассматриваемым в статье задачам, для решения которых требуется организовать экспорт данных из НБД и БД ФС, относятся:

- (1) формирование файлов словарных статей, созданных с помощью БД ФС, для дальнейшего их использования в других информационных системах, а также для издания словаря и его онлайн-версии;
- (2) создание каталогов аннотаций для размещения их на сайтах, доступных через интернет;
- (3) формирование БД аннотаций для их размещения на сайтах;
- (4) составление научных отчетов о результатах удаленной работы лингвистов, лексикографов и других пользователей БД.

Перечислим основные этапы экспорта, рассматриваемые в статье:

- (1) формирование пользователем БД запроса на экспорт массива данных (его структура и наполнение определяются шаблоном, который пользователь выбирает из заранее сформированного набора);

¹Разработчики фразеологического словаря немецких идиом и их переводов на русский язык: Дмитрий Добровольский (руководитель проекта), Артем Шарандин, Татьяна Филипенко, Елена Кротова и др. [7].

- (2) выполнение в БД поиска данных, необходимых для создания массива экспорта (например, аннотаций) *согласно выбранному шаблону*;
- (3) формирование массива с его метаданными, сохранение массива и его отправка пользователю БД вместе с метаданными;
- (4) регистрация в журнале результатов выполнения экспорта из БД.

Как следует из списка основных этапов экспорта, предварительно формируется набор шаблонов исходя из списка задач, перечисленных выше.

В разд. 2 даны примеры экспортируемых каталогов и БД аннотаций, иллюстрирующие результаты их формирования на основе экспорта. В разд. 3 рассматриваются принципы его организации. Раздел 4 посвящен описанию примера работы программы, обеспечивающей экспорт из БД.

2 Каталоги и базы данных аннотаций

Одна из основных функций НБД состоит в обеспечении процессов целенаправленного извлечения нового лингвистического знания экспертами и сохранении в НБД аннотаций как форм его представления [10–13]. Функции экспорта в НБД первоначально обеспечивали решение второй и третьей из четырех задач, перечисленных во введении: создание каталогов и экспортированных фрагментов НБД (далее — ЭБД аннотаций). В настоящее время сформировано три каталога и три ЭБД аннотаций [14, 15]:

- (1) каталог дискурсивных единиц;
- (2) каталог коннекторов;
- (3) каталог безличных глагольных форм;
- (4) ЭБД аннотаций коннекторов;
- (5) ЭБД аннотаций лингвоспецифичных языковых единиц;
- (6) ЭБД аннотаций глагольных конструкций.

Надкорпусная база данных коннекторов позволяет описать переводные соответствия коннекторов русского, итальянского и французского языков [16]. На основе результатов аннотирования текстов на русском и французском языках был составлен и выгружен каталог коннекторов, доступный на сайте в сети Интернет вместе с ЭБД (4840 аннотаций), созданной на основе НБД [14]. Например, согласно этому каталогу, коннектор *вообще* чаще всего переводится на французский язык с использованием слов и словосочетаний, представленных в табл. 2.

Аналогичную информацию о переводных соответствиях языковых единиц других категорий можно посмотреть на сайте [14].

Таблица 2 Четыре топ-варианта перевода коннектора *вообще*

Варианты перевода коннектора <i>вообще</i> на французский язык	Число аннотированных переводных соответствий	Доля аннотированных переводных соответствий каждого варианта от общего числа сформированных аннотаций (134) переводов коннектора <i>вообще</i>
en général	35	26,12%
d'une façon générale	10	7,46%
d'ailleurs	6	4,48%
Bref	4	2,99%

3 Принципы поэтапной организации экспорта

При заказе пользователем каталога на первом этапе происходит формирование запроса на поиск данных для экспорта. С помощью интерфейса НБД пользователь проводит отбор интересующих его аннотаций, задавая соответствующие критерии их поиска (например, все аннотации с коннектором *вообще*, которых, согласно табл. 2, всего создано 134). На основе этих критериев формируется поисковый запрос.

На втором этапе этот запрос выполняется НБД. После его выполнения найденные данные отображаются на экране. Например, если предметом поиска были аннотации с коннектором *вообще*, то на экране они отображаются в табличной форме. В табл. 3 показана одна аннотация с наиболее частотным вариантом перевода этого коннектора на французский язык (*en général*).

На третьем этапе создается массив найденных аннотаций, на его основе формируется каталог согласно выбранному шаблону, массив и каталог сохраняются и затем каталог отправляется пользователю БД по электронной почте. Мета-

Таблица 3 Аннотированное переводное соответствие (аннотация)

Предложение с коннектором на русском языке	Коннектор и выражаемое им логико-семантическое отношение в тексте	Перевод предложения на французский язык	Перевод коннектора и логико-семантическое отношение в переводе
Поговорили о кино. Затем о жизни вообще . (С. Д. Довлатов. <i>Иностранка</i> . 1986)	вообще (генерализация)	Ils avaient parlé cinéma. Puis de la vie en général . (<i>L'Etrangere</i> . Перевод J. Michaut-Paternò. 2001)	en général (генерализация)

Таблица 4 Зоны шаблона и теги их границ

Название зоны	Тег нижней границы
Заголовок	<~Request>
Заглавие основной части	<~MainHeader>
Оглавление	<~Contents>
Ссылка на список кодов произведений	<~OpusCodes>
Заголовок раздела	<~Header>
Статистика раздела	<~Body>
Заголовок подраздела	<~Nest>
Описание аннотации	<~Couple>
Заголовок списка кодов произведений	<~OpusHeader>
Список кодов произведений	<~OpusBody>

данные о выполнении заказа на выполнение каталога сохраняются в одной из таблиц НБД, предназначенной для работы с отчетами по заказам. В этой таблице заполняются следующие поля:

- идентификатор, дата и время выполнения заказа на экспорт;
- имя НБД, в рамках которой был выполнен заказ;
- адрес электронной почты пользователя, сделавшего заказ;
- строка SQL-запроса, сформированного на основе критериев поиска, заданных пользователем.

Результатом выполнения поискового запроса является массив информационных объектов НБД (например, аннотации), которые передаются программе формирования каталога согласно шаблону, выбранному пользователем. В качестве первого шага программа берет заранее созданный шаблон, который хранится в формате MS Word. Шаблон, разделенный на зоны, нижние границы которых обозначены тегами (табл. 4), включает так называемые точки подстановки, обозначенные специальными кодами, которые заменяются данными из НБД с сохранением *стиля и формата полей шаблона*.

Другими словами, точка подстановки — это место в каталоге, куда программа копирует и вставляет информационный объект НБД. Код точки подстановки имеет вид <@#с...\$>, где «с» — односимвольный код типа подстановки; многоточие (...) — произвольный набор символов. Каждая зона обладает своим собственным набором возможных кодов подстановки. Например, в зоне описания аннотации код «а» будет обозначать автора оригинала, а в зоне оглавления каталога код «г» — гиперссылку на аннотацию в одном из разделов каталога. Одинаковый код подстановки может иметь разный смысл для разных зон — например, в зоне статистики раздела код «п» обозначает порядковый номер раздела, а в зоне заголовка подраздела — число аннотаций в подразделе.

Каталог формируется последовательно по зонам. Некоторые зоны копируются и редактируются многократно в зависимости от числа разделов и подразделов — например, зоны «Оглавление», «Заголовок раздела» и «Статистика раздела». Некоторые зоны не содержат коды подстановки, и поэтому информационные объекты НБД копируются целиком без изменений — «Заглавие основной части», «Список кодов произведений». После заполнения всех зон макета каталог будет сохранен на жестком диске с именем, включающим в себя идентификатор заказа.

При завершении формирования каталога специальная программа MailAlert [17] оповещает пользователя о готовом каталоге по электронной почте и включает его в сообщение или же сообщает, что в процессе формирования произошла ошибка.

После успешного выполнения всех вышеперечисленных шагов система регистрирует факт готовности каталога, добавляя в соответствующую таблицу в БД запись о полном имени файла, содержащего созданный каталог.

4 Программное обеспечение экспорта

Функции экспорта проиллюстрируем на примере выгрузки словарных статей для создания фразеологического словаря немецких идиом, т. е. первой из четырех задач, перечисленных во введении. Словарные статьи создаются и хранятся в БД ФС, что дает возможность коллективу лингвистов и лексикографов проводить совместную работу над ними. Для издания словаря в бумажной и/или электронной форме словарные статьи экспортируются из БД ФС.

Экспорт реализуется с помощью комплекса программ выгрузки статей (см. пример словарной статьи на рисунке). Сначала выполняется подключение к SQL-серверу основной программы комплекса с использованием строки вида:

“Server = DEPT54TEST; Database = GermanPhrasePrimary; Trusted_Connection = True”.

После подключения к БД ФС программа обращается к SQL-серверу и вызывает заранее написанную хранимую процедуру. Данная процедура содержит в себе запрос по возврату информации из определенных таблиц, где хранятся различные данные статьи. Обращение к заранее составленной процедуре выполнено с целью обеспечения безопасности этой БД, так как при составлении запроса по определенному полю таблицы существует возможность нанести вред БД при добавлении к запросу команд на языке SQL.

Комплекс программ включает модули, копирующие внутреннюю структуру полей БД ФС для того, чтобы передать информацию из полей в соответствующие переменные программы. Например, для таблицы Entry, в которой находятся информация о лемме словарной статьи, ее свойствах, авторах статьи, а также комментарии предусмотрена своя структура Entry с полями под теми же названиями.

Кроме модулей подключения к БД и хранения информации разработана программа, которая включает набор специальных подстановочных кодов, ис-

JACKE

Jacke wie Hose: (*etw.*) ist Jacke wie Hose

это одно и то же, всё равно, неважно; от этого ни жарко ни холодно

☞ Die Straßen kosten sowieso viel Geld – *es ist Jacke wie Hose*, ob das nun über Steuern oder Maut eingetrieben wird. (Braunschweiger Zeitung, 22.08.2007)

Содержание дорог в любом случае требует немалых денег – и *неважно*, взимаются они в виде налогов или в виде пошлины.

☞ С отрицанием в форме (*etw.*) ist nicht Jacke wie Hose = (что-л.) не пустой звук.

☞ Damit zeigt der Caritas-Laden umso deutlicher, dass soziales Engagement nicht „Jacke wie Hose“ ist. (Rhein-Zeitung, 14.03.2006)

Таким образом, магазин благотворительной организации Каритас отчётливо доказывает, что социальные обязательства – *это не пустой звук*.

БК, ИП

Пример словарной статьи из БД ФС немецких идиом

пользуемых в шаблоне в точках подстановки. Подстановочные коды аналогичны тем, которые используются в комплексе программ экспорта каталогов из НБД. Отличие заключается в том, что в данном случае формат кодов подстановки почти полностью совпадает с тегами, используемыми для разметки статьи при их загрузке в БД ФС. Такой формат упрощает понимание шаблона, а также делает соотнесение тегов с полями в БД ФС более понятным для пользователей. Например, зона словарной статьи с информацией о лемме и заглавном слове выглядит в шаблоне следующим образом:

<@#v\$>
 <@#l\$> : <@#pf\$>
 <@#grv\$>
 <@#lxv\$>

Соответственно, для словарной статьи на рисунке программа подставляет нужную информацию на место тегов во второй строке:

<@#lJacke wie Hose\$> : <@#pf(etw.) ist Jacke wie Hose\$>.

После этого программа убирает коды подстановки и оставляет только одни текстовые данные. Таким же образом происходит подстановка данных во все остальные

разделы статьи. В результате формируется словарная статья в текстовом виде на основе информации из полей БД ФС.

5 Заключение

Описание и экспериментальная реализация принципов унификации экспорта из БД соответственно при формировании массивов словарных статей и создании каталогов аннотированных переводных соответствий показывают, что предлагаемый подход является общим для решения первых трех задач, перечисленных во введении. В дальнейшем планируется проверить реализуемость этого подхода и при решении четвертой задачи.

В БД экспорт имеет ряд общих свойств. В частности, в процессе экспорта используются заранее составленные шаблоны для подстановки данных, полученных из БД, с помощью кодов подстановки. Полученные результаты экспорта, доступные через интернет на сайте [14], позволяют предположить, что предлагаемый подход может быть использован для создания целого спектра информационных продуктов на основе НБД и базы данных словарных статей.

Литература

1. Бунтман Н. В., Зализняк Анна А., Зацман И. М., Кружков М. Г., Лощилова Е. Ю., Сичинава Д. В. Информационные технологии корпусных исследований: принципы построения кросслингвистических баз данных // Информатика и её применения, 2014. Т. 8. Вып. 2. С. 98–110.
2. Kruzikov M. G., Buntman N. V., Loshchilova E. Ju., Sitchinava D. V., Zalisniak Anna A., Zatsman I. M. A database of Russian verbal forms and their French translation equivalents // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии, 2014. Вып. 13(20). С. 284–296.
3. Зализняк Анна А. База данных межъязыковых эквиваленций как инструмент лингвистического анализа // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии, 2016. Вып. 15(22). С. 854–866.
4. Зацман И. М., Инькова О. Ю., Кружков М. Г., Попкова Н. А. Представление кроссязыковых знаний о коннекторах в надкорпусных базах данных // Информатика и её применения, 2016. Т. 10. Вып. 1. С. 106–118.
5. Вакуленко В. В., Гончаров А. А., Дурново А. А., Зацман И. М. Задачи базы данных фразеологического словаря и стадии ее проектирования // Системы и средства информатики, 2020. Т. 30. № 2. С. 113–123.
6. Вакуленко В. В., Зацман И. М. Наследуемые лексикографические ресурсы базы данных фразеологического словаря // Системы и средства информатики, 2021. Т. 31. № 2. С. 129–138.
7. Was ist “Deutsch–russische Idiome online”? http://wvonline.ids-mannheim.de/idiome_russ/index.htm.
8. Dobrovolskij D. German–Russian phraseography: On a new dictionary of modern idiomatics // Phraseodidactic studies on German as a foreign language. — Hamburg: Verlag Dr. Kovač, 2013. P. 121–138.

9. *Dobrovolskij D.* The use of corpora in bilingual phraseography // 16th EURALEX Congress (International) “The User in Focus” Proceedings. — Bolzano/Bozen: EURAC research, 2014. P. 867–884.
10. *Zatsman I. M., Buntman N. V., Kruzhekov M. G., Nuriev V. A., Zaliznyak Anna A.* Conceptual framework for development of computer technology supporting cross-linguistic knowledge discovery // 15th European Conference on Knowledge Management Proceedings. — Reading: Academic Publishing International Ltd., 2014. Vol. 3. P. 1063–1071.
11. *Зацман И. М.* Процессы целенаправленной генерации и развития кросс-языковых экспертных знаний: семиотические основания моделирования // Информатика и её применения, 2015. Т. 9. Вып. 3. С. 106–123.
12. *Zatsman I., Buntman N., Coldefy-Faucard A., Nuriev V.* WEB knowledge base for asynchronous brainstorming // 17th European Conference on Knowledge Management Proceedings. — Reading: Academic Publishing International Ltd., 2016. Vol. 1. P. 976–983.
13. *Zatsman I.* A model of goal-oriented knowledge discovery based on human–computer symbiosis // 16th Forum (International) on Knowledge Asset Dynamics Proceedings. — Rome: Arts for Business Institute, 2021. P. 297–312.
14. Надкорпусные базы данных. <http://a179.frccsc.ru/PublicLingvoProjects/main.aspx>.
15. *Зализняк Анна А., Зацман И. М., Инькова О. Ю., Кружков М. Г.* Надкорпусные базы данных как лингвистический ресурс // Корпусная лингвистика: Тр. 7-й Междунар. конф. — СПб.: СПбГУ, 2015. С. 211–218.
16. *Зализняк Анна А., Зацман И. М., Инькова О. Ю.* Надкорпусная база данных коннекторов: построение системы терминов // Информатика и её применения, 2017. Т. 11. Вып. 1. С. 100–108.
17. Mail Alert simple mailer. <https://sourceforge.net/projects/mail-alert>.

Поступила в редакцию 15.02.22

EXPORT FUNCTIONS IN LEXICOGRAPHICAL DATABASES

V. V. Vakulenko, A. A. Durnovo, and I. M. Zatsman

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

Abstract: The paper presents an overview of tasks, functions, and main stages of export in supracorpora databases as well as in the phraseological dictionary database (PD DB) which contains dictionary articles of German idioms and their translation into Russian. Supracorpora database contains parallel texts of book originals and translations and, as a result of export, a user obtains a catalog of selected annotated translation equivalences of the studied language units in both the original and the translation(s). After export from the PD DB, the user obtains a set of dictionary articles selected according to the user’s criteria. The goal of

the paper is to describe the principles of export unification during the formation of dictionary article sets and the creation of catalogs of annotated translation equivalences.

Keywords: export functions; supracorpora database; catalog; phraseological dictionary database; annotated translation equivalences

DOI: 10.14357/08696527220114

Acknowledgments

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

References

1. Buntman, N. V., Anna A. Zaliznyak, I. M. Zatsman, M. G. Kruzhkov, E. Yu. Loshchilova, and D. V. Sichinava. 2014. Informatsionnye tekhnologii korpusnykh issledovaniy: printsipy postroeniya kross-lingvisticheskikh baz dannykh [Information technologies for corpus studies: Underpinnings for cross-linguistic database creation]. *Informatika i ee Primeniya — Inform. Appl.* 8(2):98–110.
2. Kruzhkov, M. G., N. V. Buntman, E. Ju. Loshchilova, D. V. Sichinava, Anna A. Zalizniak, and I. M. Zatsman. 2014. A database of Russian verbal forms and their French translation equivalents. *Komp'yuternaya lingvistika i intellektual'nye tekhnologii* [Computational Linguistics and Intellectual Technologies] 13(20):275–287.
3. Zaliznyak, Anna A. 2016. Baza dannykh mezh'yazykovykh ekvivalentsiy kak instrument lingvisticheskogo analiza [Database of cross-linguistic equivalences as a tool for linguistic analysis]. *Komp'yuternaya lingvistika i intellektual'nye tekhnologii* [Computer Linguistics and Intellectual Technologies] 15(32):854–866.
4. Zatsman, I. M., O. Yu. Inkova, M. G. Kruzhkov, and N. A. Popkova. 2016. Predstavlenie krossyazykovykh znaniy o konnektorakh v nadkorpusnykh bazakh dannykh [Representation of cross-lingual knowledge about connectors in supracorpora databases]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 10(1):106–118.
5. Vakulenko, V. V., A. A. Goncharov, A. A. Durnovo, and I. M. Zatsman. 2020. Zadachi bazy dannykh frazeologicheskogo slovarya i stadii ee proektirovaniya [Tasks of the phraseological dictionary database and stages of its design]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 30(2):113–123.
6. Vakulenko, V. V., and I. M. Zatsman. 2021. Nasleduemye leksikograficheskie resursy bazy dannykh frazeologicheskogo slovarya [Inheritable lexicographic resources of the phraseological dictionary database]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 31(2):129–138.
7. Was ist “Deutsch–russische Idiome online”? Available at: http://wvonline.ids-mannheim.de/idiome_russ/index.htm (accessed February 28, 2022).
8. Dobrovol'skij, D. 2013. German–Russian phraseography: On a new dictionary of modern idiomatics. *Phraseodidactic studies on German as a foreign language*. Hamburg: Verlag Dr. Kovač. 121–138.

9. Dobrovolskij, D. 2014. The use of corpora in bilingual phraseography. *16th EURALEX Congress (International) "The User in Focus" Proceedings*. Bolzano/Bozen: EURAC research. 867–884.
10. Zatsman, I., N. Buntman, M. Kruzhkov, V. Nuriev, and A. Zalizniak. 2014. Conceptual framework for development of computer technology supporting cross-linguistic knowledge discovery. *15th European Conference on Knowledge Management Proceedings*. Reading: Academic Publishing International Ltd. 3:1063–1071.
11. Zatsman, I. 2015. Protsessy tselenapravlennoy generatsii i razvitiya kross-yazykovykh ekspertnykh znaniy: semioticheskie osnovaniya modelirovaniya [Goal-oriented processes of cross-lingual expert knowledge creation: Semiotic foundations for modeling]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 9(3):106–123.
12. Zatsman I., N. Buntman, A. Coldefy-Faucard, and V. Nuriev. 2016. WEB knowledge base for asynchronous brainstorming. *17th European Conference on Knowledge Management Proceedings*. Reading: Academic Publishing International Ltd. 1:976–983.
13. Zatsman, I. 2021. A model of goal-oriented knowledge discovery based on human–computer symbiosis. *16th Forum (International) on Knowledge Asset Dynamics Proceedings*. Rome: Arts for Business Institute. 297–312.
14. Nadkorpusnye bazy dannykh [Supracorpora databases]. Available at: <http://a179.frccsc.ru/PublicLingvoProjects/main.aspx> (accessed February 28, 2022).
15. Zaliznyak, Anna A., I. M. Zatsman, O. Yu. Inkova, and M. G. Kruzhkov. 2015. Nadkorpusnye bazy dannykh kak lingvisticheskiy resurs [Supracorpora databases as linguistic resource]. *7th Conference (International) on Corpus Linguistics Proceedings*. St. Petersburg: St. Petersburg State University. 211–218.
16. Zaliznyak, Anna A., I. M. Zatsman, and O. Yu. Inkova. 2017. Nadkorpusnaya baza dannykh konnektorov: postroenie sistemy terminov [Supracorpora database on connectives: Term system development]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 11(1):100–106.
17. Mail Alert simple mailer. Available at: <https://sourceforge.net/projects/mail-alert/> (accessed February 28, 2022).

Received February 15, 2022

Contributors

Vakulenko Vasily V. (b. 1995) — engineer-researcher, Institute of Informatics Problems, Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow, Russian Federation; vvak@pm.me

Durnovo Aleksandr A. (b. 1949) — leading programmer, 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; duralex49@mail.ru

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

ПОИСК АНОМАЛИЙ В БОЛЬШИХ ДАННЫХ

*А. А. Грушо¹, Н. А. Грушо², М. И. Забейайло³, Д. В. Смирнов⁴,
Е. Е. Тимонина⁵, С. Я. Шоргин⁶*

Аннотация: Проблема достаточности информации для идентификации объекта поиска в больших данных состоит в том, что метод поиска может в условиях шума пропустить искомый объект или, наоборот, указать на объекты, которые случайно обладают признаками настоящего искомого объекта. В работе рассматривается простой подход к оценке разрешимости проблемы поиска требуемой информации в больших данных в слабых предположениях об информативности признаков идентификации объектов поиска. В простейшем случае большие данные состоят из множества объектов, каждый из которых описывается множеством параметров. Область определения каждого параметра — это свое информационное пространство. Значения параметров помогают идентифицировать искомый объект поиска и фильтровать ложные объекты. Если параметров мало, то однозначное выявление искомого объекта возможно в более сильных ограничениях на объем больших данных. Поскольку заранее не известна возможность однозначного выявления искомого объекта, то необходимо хотя бы приблизительно оценивать ограничения на объем больших данных, при которых возможно однозначное выявление искомой информации. Для таких оценок предложено использовать предельные теоремы теории вероятностей в схеме серий.

Ключевые слова: информационная безопасность; поиск аномалий; алгоритмы фильтрации «ложных тревог»

DOI: 10.14357/08696527220115

1 Введение

Проблема поиска требуемой информации в больших данных становится все более актуальной [1–5]. Один из важных аспектов этой проблемы — возможность определить хотя бы приблизительно разрешимость этой задачи в имеющемся массиве больших данных. Проблема состоит из двух компонентов.

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

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

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

⁴ПАО Сбербанк России, dvlsmirnov@sberbank.ru

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

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

Первый компонент заключается в том, что задача поиска требуемой информации может оказаться вычислительно сложной и не всегда возможно найти алгоритм поиска приемлемой вычислительной сложности. Второй компонент определяется наличием информации об объектах поиска, достаточной для осуществления этого поиска.

В работах [6, 7] упор делается на первом, вычислительном компоненте разрешимости проблемы поиска в больших данных. При этом не рассматривается информативность объекта поиска.

В работе [8] задача поиска решается с учетом обоих компонентов, но при условии что объект поиска однозначно определяется.

В данной работе рассматривается простой подход к оценке разрешимости проблемы поиска требуемой информации в больших данных в более слабых предположениях об информативности объекта поиска. При этом вопрос о вычислимости в этой работе не затрагивается.

Проблема достаточности информации для идентификации объекта поиска состоит в том, что метод поиска может в условиях шума пропустить искомый объект или, наоборот, указать на объекты, которые случайно обладают признаками настоящего искомого объекта. При этом чем больше данные, тем больше возможность порождения этих ошибок. Например, когда большие данные состоят из множества числовых выборок малого объема (малые выборки [1]), то, чтобы не потерять искомый объект, необходимо отфильтровать случайно порожденные аналоги искомого объекта. Для этого необходимо использовать дополнительную информацию. Дополнительная информация может быть найдена в различных информационных пространствах [9].

В простейшем случае большие данные состоят из множества объектов, каждый из которых описывается множеством параметров. Область определения каждого параметра — это свое информационное пространство. Значения параметров помогают идентифицировать искомый объект поиска и отфильтровывать ложные объекты.

2 Модель поиска в больших данных

Определим основные характеристики модели. Параметр I — это переменная величина с областью определения $D(I)$. Конкретное значение параметра I — это характеристика. Пусть Y — множество параметров. Объект X — это множество характеристик некоторого набора переменных из Y . Для каждого параметра I область $D(I)$ условно делится на области $D^+(I)$ и $D^-(I)$ нормальных и аномальных значений (возможны пересечения областей). Такое разделение можно задать с помощью вероятностных мер $P_0(I)$ и $P_1(I)$ (хотя области ненулевых значений вероятностей могут пересекаться). Признак — подмножество характеристик в объекте. Данные представляют собой большой набор объектов X_1, X_2, \dots, X_N .

Каждый объект может содержать нормальные характеристики и аномальные, но для простоты будем считать, что число характеристик в каждом объекте

одинаковое и равно n . Аномальность объекта определяется набором аномальных признаков (т. е. признаков, содержащих только аномальные характеристики). Однако для применения в задаче разрешимости поиска вероятностно-статистическими методами удобнее пользоваться следующим определением.

Объект называется *аномальным*, если число аномальных характеристик в нем превышает некоторый порог, в противном случае объект может считаться *нормальным*, т. е. для простоты оценок ограничим множество признаков аномальности общим числом аномальных характеристик.

Следующее упрощение связано с предположениями о распределениях значений параметров. Будем считать, что все параметры имеют одинаковые вероятности принять аномальное значение, равные p для нормальных объектов и q для аномальных объектов, $p < q$.

Пусть все характеристики в объекте появляются независимо. Определим на значениях каждого параметра свою случайную величину, равную 1, если в объекте характеристика этого параметра является аномальной. Тогда аномальность объекта определяется превышением порога числа единиц в сумме определенных выше случайных величин. Из независимости и одинаковой распределенности появления характеристик случайная величина $v(X)$, определяющая нормальность или аномальность объекта X , распределена по биномиальному закону с параметрами p и n для нормального объекта и с параметрами q и n для аномального объекта.

В построенной упрощенной модели исходные данные можно представить в виде прямоугольной матрицы A , в которой число строк равно n , а число столбцов — N . Элементы матрицы равны 1 и 0 в соответствии с тем, является ли соответствующая характеристика объекта (номер столбца) y параметра (номер строки) аномальной или нормальной.

3 Оценка возможности выявления аномального объекта

Для оценки возможности выявления аномального объекта в больших данных предположим, что не существует дополнительной информации для решения задачи, кроме матрицы A . Если объект является нормальным, но случайно число аномальных характеристик в нем превысило установленный порог, то этот объект будет признан аномальным. Такие ошибки будем называть ложными тревогами (ЛТ). По предположению выше, нет информации, позволяющей определить, относится ли такой объект к действительно аномальным или нет. Очевидно, что правильный отсев ЛТ требует дополнительной информации, которая в данной модели может появиться только за счет увеличения числа параметров объекта.

Если предположить, что число параметров n стремится к бесконечности, то из условия $p < q$ надо найти соотношение параметров N и n такое, что вероятность ЛТ стремится к 0. Условий $p < q$ и $n \rightarrow \infty$ недостаточно для избавления от ЛТ в больших данных. Поскольку в рассматриваемой модели случайные величины $v(X)$ являются независимыми случайными величинами,

которые распределены по биномиальным законам, то в больших данных начиная с некоторого N может возникнуть превышение порога числа единиц у нормальных объектов за счет больших уклонений. Тогда, как было отмечено выше, реальную аномалию невозможно будет выделить. Таким образом, значения N позволяют определять возможность выявления аномалии, когда вероятность появления в нормальных данных ЛТ достаточно мала.

Воспользуемся известными предельными теоремами для оценки области значений параметров n и N , при которых вероятность появления ЛТ стремится к 0. Эта область соответствует области разрешимости задачи однозначного выявления малого числа аномалий в больших данных.

Пусть $n \rightarrow \infty$. Тогда по теореме Муавра–Лапласа [10] для аномального объекта

$$\begin{aligned} P(v(X)) &> nq - \ln n \sqrt{nq(1-q)} = \\ &= 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi} \ln n} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \ln^2 n \right\} \left(1 + O \left(\frac{1}{\ln n} \right) \right). \end{aligned}$$

Обозначим:

$$\mu = nq; \quad \varepsilon = \frac{q}{p} - \frac{\ln n}{\sqrt{n}} - 1 > 0.$$

Тогда по оценкам Чернова [11] получаем оценку вероятности ЛТ для нормального объекта:

$$P(v(X)) \geq nq - \ln n \sqrt{nq(1-q)} < \exp \left\{ -\frac{1}{3} \varepsilon^2 \mu \right\}, \quad (1)$$

а значит, по неравенству Чебышёва [12], вероятность хотя бы одной ЛТ оценивается сверху величиной

$$N \exp \left\{ -\frac{1}{3} \varepsilon^2 \mu \right\}. \quad (2)$$

Отсюда получаем оценку объема больших данных, при котором с вероятностью, стремящейся к 1, однозначно выявляется аномалия или несколько аномалий:

$$N \leq \frac{1}{\ln n} \exp \left\{ \frac{1}{3} \varepsilon^2 \mu \right\}. \quad (3)$$

Наоборот, для объема больших данных N число независимых параметров для определения аномалии должно иметь порядок $C \ln N$, где C — некоторая положительная константа.

Выше рассмотрен простейший случай применения предельных теорем теории вероятностей для оценки разрешимости задачи поиска вкраплений (аномалий) в большие данные. Данную модель можно немного усложнить, чтобы приблизить к практическим результатам.

1. Можно рассмотреть различные вероятности p_i , $i = 1, \dots, N$, появления аномальных характеристик в различных объектах. При этом в каждом объекте сохраняется условие независимости появления характеристик в различных

параметрах. Последнее условие важно и в других задачах [8]. Для обобщения результатов оценивания на этот случай достаточно условия $p_i \leq p < q$, $i = 1, \dots, N$. Использование оценок (1) и (2) позволяет также с помощью формулы (3) оценивать объем больших данных, допустимый для выявления аномалий.

2. Можно отказаться от условия, что в каждом объекте одинаковое число параметров. Это условие можно заменить на условие $n_i \geq n = C \ln N$, $i = 1, \dots, N$, $C > 0$. Такой вывод следует из того, что увеличение числа параметров только уменьшает вероятность ЛТ.
3. При выполнении условий п. 1 и п. 2 можно отказаться от условий независимости исходных данных X_1, X_2, \dots, X_N , например в том смысле, что нормальные данные могут появляться повторно. Условие п. 3 следует из того факта, что для оценки N использовалось неравенство Чебышёва, которое включает формулу для математического ожидания. Напомним, что математическое ожидание суммы зависимых случайных величин равно сумме математических ожиданий слагаемых.

4 Заключение

Поиск информационных объектов в больших данных порождает ряд сложных проблем. Одна из проблем состоит в определении достаточности информации об искомом объекте для его выявления из множества других объектов. Возможно, что характеристики любых объектов в данных могут меняться таким образом, что метод поиска ошибочно определит ложный объект в качестве искомого, и наоборот: может пропустить искомый объект.

В работе построены оценки объема больших данных, при которых возможно однозначное выявление искомого объекта. В простейшей модели описания информации об искомом объекте используются значения параметров этих объектов. Как правило, чем больше такой информации, тем точнее идентифицируются искомые объекты и тем меньше шансов для появления ложных объектов. В соответствии с этими оценками построен порог для объема больших данных, позволяющий однозначно выявлять искомую информацию.

Если параметров мало, то однозначное выявление искомого объекта возможно в более сильных ограничениях объема больших данных. Поскольку заранее не известна возможность однозначного выявления искомого объекта, то необходимо хотя бы приблизительно оценивать ограничения на объем больших данных, при котором возможно однозначное выявление искомой информации. Для таких оценок предложено использовать предельные теоремы теории вероятностей в схеме серий.

Литература

1. *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.

2. *Grusho A., Grusho N., Timonina E.* Detection of anomalies in non-numerical data // 8th Congress (International) on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops Proceedings. — Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2016. P. 273–276. doi: 10.1109/ICUMT.2016.7765370.
3. *Vaughan G.* Efficient big data model selection with applications to fraud detection // Int. J. Forecasting, 2018. Vol. 36. Iss. 3. P. 1116–1127.
4. *Wan H. Y., Zhang Y. T., Zhang J., Tang J.* AMiner: Search and mining of academic social networks // Data Intelligence, 2019. Vol. 1. No. 1. P. 58–76. doi: 10.1162/dint.a_00006.
5. *Смирнов Д. В., Грушо А. А., Забейайло М. И., Тимонина Е. Е.* Система сбора и анализа информации из различных источников в условиях Big Data // Int. J. Open Information Technologies, 2021. Vol. 9. No. 4. P. 64–71.
6. *Грушо А. А., Грушо Н. А., Забейайло М. И., Тимонина Е. Е.* Локализация исходной причины аномалии // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы, 2020. № 4. С. 9–16.
7. *Смирнов Д. В.* Методика проблемно-ориентированного анализа Big Data в режиме ограниченного времени // Int. J. Open Information Technologies, 2021. Vol. 9. Iss. 9. P. 88–94.
8. *Грушо А. А., Грушо Н. А., Забейайло М. И., Смирнов Д. В., Тимонина Е. Е., Шоргин С. Я.* Статистика и кластеры в поисках аномальных вкраплений в условиях больших данных // Информатика и её применения, 2021. Т. 15. Вып. 4. С. 81–88.
9. *Грушо А. А., Забейайло М. И., Смирнов Д. В., Тимонина Е. Е.* Модель множества информационных пространств в задаче поиска инсайдера // Информатика и её применения, 2017. Т. 11. Вып. 4. С. 65–69.
10. *Феллер В.* Введение в теорию вероятностей и ее приложения / Пер с англ. — М.: Мир, 1967. Т. 1. 498 с. (*Feller W.* An introduction to probability theory and its applications. — 2nd ed. — New York, NY, USA: John Wiley and Sons, Inc., 1950. Vol. 1. 520 p.)
11. *Mitzenmacher M., Upfal E.* Chernoff bounds // Probability and computing: Randomized algorithms and probabilistic analysis. — Cambridge: Cambridge University Press, 2005. P. 61–89.
12. *Шуряев А. Н.* Вероятность. — 3-е изд. — М.: МЦМО, 2004. 521 с.

Поступила в редакцию 22.09.21

SEARCH OF ANOMALIES IN BIG DATA

*A. A. Grusho¹, N. A. Grusho¹, M. I. Zabezhailo¹, D. V. Smirnov², E. E. Timonina¹,
and S. Ya. ShorGIN¹*

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

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

Abstract: The problem of a sufficient amount of the information for identifying the search object in the big data is that the search method may, under noise conditions, skip the searched object or, conversely, point to objects that accidentally possess the features of the present searched object. The paper

discusses the simple approach to estimating the solvability of the problem of searching for the required information in big data in weak assumptions about the informativity of the identification features of search objects. In the simplest case, big data consist of a set of objects, each of which is described by a set of parameters. Each parameter definition area is its own information space. Parameter values help identify the searched object and filter false objects. If there are few parameters, then unambiguous identification of the desired object is possible in stronger restrictions on the volume of big data. Since the possibility of unambiguously identifying the desired object is not known in advance, it is necessary, at least approximately, to evaluate the restrictions on the amount of big data in which it is possible to unambiguously identify the desired information. For such estimates, it is proposed to use the limit theorems of the probability theory in the series scheme.

Keywords: information security; search for anomalies; algorithms for filtering false alarms

DOI: 10.14357/08696527220115

References

1. Axelsson, S. 2000. The base-rate fallacy and its implications for the difficulty of intrusion detection. *ACM T. Inform. Syst. Se.* 3(3):186–205.
2. Grusho, A., N. Grusho, and E. Timonina. 2016. Detection of anomalies in non-numerical data. *8th Congress (International) on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops Proceedings*. Piscataway, NJ: IEEE. 273–276. doi: 10.1109/ICUMT.2016.7765370.
3. Vaughan, G. 2018. Efficient big data model selection with applications to fraud detection. *Int. J. Forecasting* 36(3):1116–1127.
4. Wan, H. Y., Y. T. Zhang, J. Zhang, and J. Tang. 2019. AMiner: Search and mining of academic social networks. *Data Intelligence* 1(1):58–76. doi: 10.1162/dint_a-00006.
5. Smirnov, D. V., A. A. Grusho, M. I. Zabezhailo, and E. E. Timonina. 2021. Sistema sbora i analiza informatsii iz razlichnykh istochnikov v usloviyakh Big Data [System for collecting and analyzing information from various sources in Big Data conditions]. *Int. J. Open Information Technologies* 9(4):64–71.
6. Grusho, A. A., N. A. Grusho, M. I. Zabezhailo, and E. E. Timonina. 2020. Lokalizatsiya iskhodnoy prichiny anomalii [Root cause anomaly localization]. *Problemy informatsionnoy bezopasnosti. Komp'yuternye sistemy* [Problems of Information Security. Computer Systems] 4:9–16.
7. Smirnov, D. V. 2021. Metodika problemno-orientirovannogo analiza Big Data v rezhime ogranichennogo vremeni [Methodology of problem-oriented Big Data analysis in limited time mode]. *Int. J. Open Information Technologies* 9(9):88–94.
8. Grusho, A. A., N. A. Grusho, M. I. Zabezhailo, D. V. Smirnov, E. E. Timonina, and S. Ya. Shorgin. 2021. Statistika i klasteriy v poiskakh anomal'nykh vkrapleniy v usloviyakh bol'shikh dannykh [Statistics and clusters for detection of anomalous insertions in Big Data environment]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 15(4):81–88.

9. Grusho, A. A., M. I. Zabezhailo, D. V. Smirnov, and E. E. Timonina. 2017. Model' mnozhestva informatsionnykh prostranstv v zadache poiska insaydera [The model of the set of information spaces in the problem of insider detection]. *Informatika i ee Primeneniya — Inform. Appl.* 11(4):65–69.
10. Feller, W. 1950. *An introduction to probability theory and its applications*. 2nd ed. New York, NY: John Wiley and Sons, Inc. Vol. 1. 520 p.
11. Mitzenmacher, M., and E. Upfal. 2005. Chernoff bounds. *Probability and computing: Randomized algorithms and probabilistic analysis*. Cambridge: Cambridge University Press. 61–89.
12. Shiryaev, A. N. 2004. *Veroyatnost'* [Probability]. Moscow: MTsNMO. 521 p.

Received September 22, 2021

Contributors

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

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

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

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

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

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

Борисов Андрей Владимирович (р. 1965) — доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Босов Алексей Вячеславович (р. 1969) — доктор технических наук, главный научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Бутенко Юлия Ивановна (р. 1987) — кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической информатики и компьютерных технологий Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана

Вакуленко Василий Васильевич (р. 1995) — инженер-исследователь Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Волков Олег Игоревич (р. 1964) — ведущий программист Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Грушо Александр Александрович (р. 1946) — доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Грушо Николай Александрович (р. 1982) — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

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

Дулина Наталья Георгиевна (р. 1947) — кандидат технических наук, ведущий программист Вычислительного центра им. А. А. Дородницына Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Дурново Александр Адрианович (р. 1949) — ведущий программист Института проблем информатики 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

Жуков Денис Владимирович (р. 1979) — главный специалист Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Забезжайло 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

Зацман Игорь Моисеевич (р. 1952) — доктор технических наук, заведующий отделом Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Зейфман Александр Израилевич (р. 1954) — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики Вологодского государственного университета; старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук; главный научный сотрудник Вологодского научного центра Российской академии наук

Иванов Алексей Владимирович (р. 1976) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института проблем информатики 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

Инькова Ольга Юрьевна (р. 1965) — доктор филологических наук, старший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук; сотрудник Университета Женевы

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

Квасников Александр Вадимович (р. 1999) — студент магистратуры Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана

Ковалёв Иван Александрович (р. 1996) — аспирант кафедры прикладной математики Вологодского государственного университета

Кривенко Михаил Петрович (р. 1946) — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

Попкова Наталия Александровна (р. 1992) — младший научный сотрудник Института проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук

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

Славнов Николай Вадимович (р. 1999) — студент магистратуры Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана

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

Строганов Юрий Владимирович (р. 1993) — старший преподаватель кафедры программного обеспечения ЭВМ и информационных технологий Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана

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

Усов Илья Андреевич (р. 1997) — студент магистратуры кафедры прикладной математики Вологодского государственного университета

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. Spособ 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-sionnogo monitoringa [Technology of development of semantic dictionary of information monitoring system]. Moscow: IPI RAN. PhD Thesis. 23 p.

State standards and patents:

GOST 8.586.5-2005. 2007. Metodika vypolneniya izmereniy. Izmerenie raskhoda i 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 32 No.1 Year 2022

Editor-in-Chief and Chair of Editorial Council

Academician I. A. Sokolov

IN THIS ISSUE:

INFORMATION ASPECTS OF SECURITY IN TRANSPORT: ANALYTICAL DATA PROCESSING <i>A. V. Borisov, A. V. Bosov, D. V. Zhukov, and A. V. Ivanov</i>	4
RESEARCH AND DEVELOPMENT STRATEGY IN THE FIELD OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IV: CHINESE GOVERNMENT POLICY <i>A. V. Borisov, A. V. Bosov, and D. V. Zhukov</i>	18
TRUNCATION BOUNDS FOR INHOMOGENEOUS MARKOV CHAINS WITH CONTINUOUS TIME AND CATASTROPHES <i>I. A. Usov, I. A. Kovalev, and A. I. Zeifman</i>	34
GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM — TOOL FOR DIGITAL GEODATA TRANSFORMATION <i>I. N. Rozenberg, S. K. Dulin, and N. G. Dulina</i>	46
PHONETIC-ACOUSTIC DATABASE OF RUSSIAN TRIGRAMS <i>Yu. I. Butenko, Yu. V. Stroganov, A. V. Kvasnikov, and N. V. Slavnov</i>	55
SOME ISSUES OF INTERNAL QUALITY ASSESSMENT OF INFORMATION SYSTEMS <i>A. A. Zatsarinny and Yu. S. Ionenkov</i>	63
INTERRELATION BETWEEN THE SOFTWARE-DEFINED AND CONVENTIONAL IP-NETWORKS <i>V. B. Egorov</i>	73
ANALYSIS OF A MONOTONE TREND IN A MULTIPARAMETER CASE <i>M. P. Krivenko</i>	83