

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ОСНОВЕ ФОРМАЛИЗМОВ ТЕОРИИ МНОЖЕСТВ, ГРАФОВ, ТЕОРИИ КАТЕГОРИЙ И ТЕОРИИ ПОРОЖДАЮЩИХ ЯЗЫКОВ ХОМСКОГО

В.В. Антонов¹, antonov.v@bashkortostan.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5402-9525>

Г.Г. Куликов¹, gennadyg_98@yahoo.com

Я.С. Вояковская¹, in.edem@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8241-3842>

Е.В. Пальчевский², teelxp@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9033-5741>

¹ Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

² Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия

Аннотация. Для материала данной статьи открытые источники могут быть представлены как информация, размещенная в сети Интернет для многократного и неограниченного использования в виде машиночитаемых систематизированных данных, в форматах, позволяющих их отдельную автоматизированную обработку. Любой из открытых источников – это частично структурированный контент, характеризующийся тем, что состоит из нечетких перекрытий и связей, формализованных рядом устойчивых правил. **Цель исследования** состоит в том, чтобы произвести математическое описание правил декомпозиции связей виртуальных образов контента на основании статистических данных сопоставлений с целью формулирования цифрового аналога вербальной структуры. Исследованию сопутствует разработка модульной кроссплатформенной системы предиктивной аналитики распределенных открытых источников социальной цифровой среды на основе технологий многопоточной обработки данных. В основу системы ложится создание прототипа цифрового двойника, позволяющего производить мониторинг и последующий анализ открытых источников. Кроссплатформенный цифровой двойник может быть создан для различных открытых источников. В настоящее время среди них приоритетными для анализа исследуемых данных являются социальные сети. **Материалы и методы.** При однотипном контенте кода становится необходимым формализовать правила категоризации семантических значений структуры связей объекта исследования, которые могут быть описаны на языке теории графов, иметь подходящую им структуру в матрицах Ли, подчиняться законам транзитивности и обладать свойствами, позволяющими воссоздать связность в квазипроекции. Предлагается метод, позволяющий производить последовательные исчисления, не противоречащие друг другу по основным правилам аксиоматики. **Результаты.** Метод позволяет производить анализ в режиме реального времени потока данных открытых источников, идентифицировать цифровые следы объектов исследования, выявление структуры их связей. **Заключение.** С помощью предлагаемой группы алгоритмизированных математических итераций становится возможным создание совокупности локальных систем с подсистемами обратной связи предиктивной аналитики открытых источников интернет-ресурсов и локальных систем различного назначения

Ключевые слова: цифровой двойник, открытые источники, семантический дифференциал, семантическое пространство, β -уровневые отношения, алгоритм Прима, алгоритм Флойда – Уоршала, алгоритм Белмана – Форда, алгоритм Форда – Фалкерсона, матрицы Кирхгофа, модель связности, порождающие грамматики Хомского, квазипроекция, алгебры Ли, группы Ли, закон Ципфа

Благодарности. Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения Государственного задания № FEUE-2023-0007.

Для цитирования: Метод формирования структур цифровых двойников предметно-ориентированных объектов в пространстве открытых источников на основе формализмов теории множеств, графов, теории категорий и теории порождающих языков Хомского / В.В. Антонов, Г.Г. Куликов, Я.С. Вояковская, Е.В. Пальчевский // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2023. Т. 23, № 2. С. 17–27. DOI: 10.14529/ctcr230202

A METHOD OF FORMING THE STRUCTURES OF DIGITAL DOUBLES OF DOMAIN-ORIENTED OBJECTS IN THE OPEN SOURCE SPACE BASED ON THE FORMALISMS OF THE THEORY OF SETS, GRAPHS, CATEGORY THEORY AND THE THEORY OF GENERATING CHOMSKY LANGUAGES

V.V. Antonov¹, antonov.v@bashkortostan.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5402-9525>
G.G. Kulikov¹, gennadyg_98@yahoo.com
Ya.S. Voyakovskaya¹, in.edem@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8241-3842>
E.V. Palchevsky², teelxp@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9033-5741>

¹ Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

² Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

Abstract. For the material of this article, open sources can be presented as information posted on the Internet for multiple and unlimited use in the form of machine-readable systematized data, in formats that allow their separate automated processing. Any of the open sources is partially structured content, characterized by the fact that it consists of fuzzy overlaps and connections formalized by a number of sustainable rules. **Aim.** The purpose of the study is to produce a mathematical description of the rules for the decomposition of links of virtual images of content based on statistical data of comparisons in order to formulate a digital analogue of the verbal structure. The research is accompanied by the development of a modular cross-platform predictive analytics system for distributed open sources of the social digital environment based on multi-stream data processing technologies. The system is based on the creation of a prototype of a digital twin, which allows monitoring and subsequent analysis of open sources. A cross-platform digital twin can be created for various open sources. Currently, among them, social networks are a priority for the analysis of the studied data. **Materials and methods.** Turning to the same type of code content, it becomes necessary to formalize the rules for categorizing the semantic meanings of the structure of connections of the object of study, which can be described in the language of graph theory, have a suitable structure in Lie matrices, obey the laws of transitivity and have properties that allow you to recreate connectivity in a quasi-projection. A method is proposed that makes it possible to produce sequential calculus that does not contradict each other according to the basic rules of axiomatics. **Results.** The method allows for real-time analysis of the data flow of open sources, identification of digital traces of research objects, identification of the structure of their connections. **Conclusion.** With the help of the proposed group of algorithmized mathematical iterations, it becomes possible to create a combination of local systems with feedback subsystems of predictive analytics of open sources of Internet resources and local systems for various purposes.

Keywords: digital twin, open sources, semantic differential, semantic space, β -level relations, Prim's algorithm, Floyd–Warshall algorithm, Belman–Ford algorithm, Ford–Fulkerson algorithm, Kirchhoff matrices, connectivity model, generating Chomsky grammars, quasi-projection, Lie algebras, Lie groups, Zipf's law

Acknowledgments. The research was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of the implementation of State Assignment No. FEUE-2023-0007.

For citation: Antonov V.V., Kulikov G.G., Voyakovskaya Ya.S., Palchevsky E.V. A method of forming the structures of digital doubles of domain-oriented objects in the open source space based on the formalisms of the theory of sets, graphs, category theory and the theory of generating Chomsky languages. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics.* 2023;23(2):17–27. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr230202

Введение

В данной статье будем рассматривать только свойства связности объектов в структуре цифрового двойника предметной области [1]. Математическое описание правил их формулирования представляет собой базу знаний, содержащую множество различных свойств и сопоставлений, что позволяет представить его в виде некоторого приближения к цифровому двойнику предметной области. Это открывает возможность выявления и дополнительного анализа различного вида

неявных квалификаций объектов. Таким образом, объекты рассматриваемой предметной области и представляют собой открытый исходный код, обладающий рядом свойств устойчивости, а также учитывающий эмерджентность и сингуляризацию потоков системы.

1. Математическая постановка задачи

Данный метод может быть доведен до формального алгоритма и представлен следующей последовательностью шагов.

1. Определение правил и алгоритмов на базе семантического отбора значимых для каждого объекта признаков (метод семантического дифференциала [2]), применения экспертных оценок и математического аппарата метода «разъезженного пути» М. Шульце [3].

2. Моделирование алгоритмов на графах, описывающих состояние системы в каждой записи и детализирующих структуру связей объекта, относящихся к формализованным семантическим признакам [4]. Выделение состояния структуры каркасов графов в свойства их связей, реинжиниринг и последующее генерирование деревьев графов по плотности связей, последующая алгоритмизация в искусственном интеллекте [5].

3. Построение проекций объектов (представленных в виде векторов) в новое пространство (назовем квазипроекцией). Данное пространство формируется с учетом правил формулирования признаков (мер), содержащихся в свойствах объектов предыдущего пункта.

4. Далее, учитывая, что объекты (точнее, их квазипроекции) помещены в единое пространство, можем провести исследование на предмет группировки их по категориям, определения линейной связности. Для этого используем известные математические аппараты алгебры Ли [6] и выявления тензорных взаимосвязей объектов.

2. Раскрытие метода решения задачи

С целью решения задачи, поставленной на первом шаге, в качестве способа для вычисления тех или иных признаков объекта, представляющих интерес для исследования, может быть предложен алгоритм Флойда – Уоршала, сочетающийся с любым предлагаемым алгоритмом второго шага. Он способен осуществлять поиск по выделенным условиям с транзитивным замыканием отношения в сочетании с методом М. Шульце, который, в свою очередь, также поддается алгоритмизации. Это позволяет сформулировать выборку данных для экспертных решений, которые могут быть определены по значимости признаков конкретного объекта, произвести ранжирование значений параметров на основании метода семантического дифференциала и формирования вектора признаков. Данные признаки будем использовать в качестве базиса формируемого пространства, где значения базисных векторов определяются путем построения лингвистических переменных по единой шкале определяемых правилами проекции объектов. На основании изложенного формируемое пространство учитывает и семантическую составляющую правил проекций, то есть является семантическим пространством признаков. Тогда, рассматривая некоторую лингвистическую переменную как $\langle A, T(A), U, V, M \rangle$, где A – название лингвистической переменной; $T(A)$ – терм-множество лингвистической переменной A ; V – грамматика в виде синтаксического правила (порождающее названия значений лингвистической переменной A); M – семантическое правило, ставящее каждой нечеткой переменной терм-множество из $T(A)$ некоторое нечеткое подмножество универсального множества U , можем сделать очевидные заключения.

1. Практически каждая лингвистическая переменная может иметь несколько терм-множеств, которые будут различными. Простой пример: $T_1(A) = \{\text{низкий, высокий}\}$, $T_2(A) = \{\text{низкий, средний, высокий}\}$, $T_3(A) = \{\text{низкий, высокий, очень высокий}\}$ и т. д. [7].

2. На основании этого семантика зависит от множества значений соответствующей лингвистической переменной.

3. Для функций принадлежности любого термина необходимо указать контекст.

Тогда семантическое пространство может быть описано как $S = \langle A, T(A), U, M \rangle$ (пропала V), т. е. семантическая переменная с фиксированным терм-множеством (согласно Л. Заде [8], множество нечетких переменных $\langle \alpha, U, G \rangle$, α – имя, G – семантика, ограниченная нечеткой переменной

α , U – область ее определения – как правило, универсальное множество) [7]. Таким образом, одна и та же лингвистическая переменная A будет принадлежать сразу нескольким пространствам.

$$S_i = \langle A, T_i(A), U, M_i \rangle \quad i = 1, \dots, n.$$

Решая проблему выбора оптимального пространства (точнее, минимальной неопределенности) описания интересующего объекта, приходим к новому пространству или пересечению интересующих нас пространств (S_j , S_k , соответственно):

$$S = S_j \cap S_k.$$

При проектировании программной системы задача сводится к формированию системы конверторов, выстраивающих нечеткое соответствие $T_j(A)$ и $T_k(A)$ в условиях построения комплексного нечеткого правила вывода для M_j и M_k . Все сводится к тому, что для каждого исследуемого объекта должно быть определено хотя бы одно понятие (из числа образующих ранее указанное семантическое пространство), описывающее объект с ненулевой степенью соответствия и открывающее возможность разделения понятий в разных пространствах и объединения их за счет семантически близких терминов в объединенном пространстве [9].

Используя изложенное, сформируем алгоритм решения обратной задачи идентификации объектов в соответствии с нечеткими пересечениями свойств объектов общего информационного пространства. Применим математический аппарат теории графов, который позволит выявить наиболее четкие связи объектов. Для начала нам необходимо данные об объекте привести в матричные структуры и осуществить для этого предварительную систематизацию записей. Имея четкую структуру матриц (в идеальном случае для исследования – детерминированную), мы определим минимальные графы в алгоритмах, допускающих такую обработку. На этом этапе важно определить все существующие записи о связях объекта, для чего используется алгоритм DFS/BFS, дающий возможность производить итерации для нахождения наикратчайшего пути в графах. Таким образом, мы произведем расчет деревьев графа в «глубину» и в «ширину». Обход графа в «глубину» полезен с целью проверки связности и сильной связности графа, а обход в «ширину» позволяет выделить путь графа от выбираемой вершины до смежных с ней, а от них, в свою очередь, к смежным с ними. Данную последовательность действий повторяем до тех пор, пока не будет найден весь каркас графа. Для более точной детализации структур связей производим выделение наиболее плотных связей в отдельную категорию, для которой и будет применяться алгоритм Прима (он также называется алгоритмом Ярника или Дейкстры) [10], осуществляющий расчет связей, в том числе дублированных (например, данные, повторяющиеся в разных временных проекциях). Критерий вхождения в указанную категорию может быть реализован в виде функции принадлежности – весовой функции (β -уровневые отношения предпочтения [4]). Для этого на вход алгоритма подается связный, но неориентированный граф, преобразованный по предыдущим расчетам в DFS/BFS. В исследованиях контента всегда имеют значения строго определенные характеристики объекта, получаемые в связях, поэтому для каждого ребра изначально задается соответствующий ему вес β -уровневых отношений. В дальнейшем такому выбору обучается искусственный интеллект. Вес значений может быть определен посредством внесения данных о толщине ребер, что соответствует принципу работы со связями. Далее, соответствуя этой цели, всегда при следующем шаге алгоритма выбираются только те ребра, которые выбраны как наибольшие, либо те, которые подразумевают такой выбор при новом шаге. Определяемое на каждом шаге ребро присоединяется к дереву графа, причем его каркас может быть пересчитан при последующем изменении его структуры. После проверки всех вершин и достижения условий их максимального охвата на связях данный алгоритм завершает работу.

В результате получаем новый каркас на связях графов, который фиксируется в системе, получает индекс (например i). В дальнейшем любые изменения исходных множеств реализуются в новых каркасах на связях графов, но уже с другими номерами индексов [11]. После описанных итераций становится возможным исключение ребер, не участвующих в проверенных связях. Тогда подграфы, исключаящиеся из дальнейших расчетов, позволяют ограничить требования к объемам памяти (проблема большой размерности) и вычислительных мощностей при дальнейших расчетах в алгоритмах. Если продолжать наше рассуждение о преобразовании графов, после алгоритма Прима мы вводим полученные данные в алгоритм Белмана – Форда [12], кото-

рый выбран по причине необходимости работы с сетью и проверок кратчайшего пути в графах (по Прима) для последующего преобразования каркасов взвешенного графа, вывода значений по описанным предварительным расчетам, в том числе с использованием операции слияния деревьев и вычисления спектров графов [13, 14].

Для перечисленной группы алгоритмов с целью запоминания всех исчислений применим алгоритм Форда – Фалкерсона [15]. Вычисления, заложенные в его основу, дают возможность решения задачи выделения максимального потока на каркасах графов аналогично ранее описанному методу определения критерия вхождения в категорию [4]. Этот шаг, как и предыдущий, может быть использован для построения структур графов в пространстве, соответствующих задаче данного исследования. Полученные результаты представимы в виде матриц Кирхгофа, которые предполагают работу с плоскостью через векторы и учитывают специфику структур спектров графов. Генерирование деревьев образованных графов сопровождается группированием признаков в матричную модель связности когнитивной карты [5]. Причем связность признаков в каркасе графа может быть подобрана с использованием методов искусственного интеллекта (например, применением искусственной нейронной сети) в новой системе отношений (в виде дерева – связного ориентированного ациклического графа). В зависимости от числа признаков значения матричных моделей связности преобразуются в модель позиционного взвешивания. Поставленная задача сводится к построению каркаса графа, при которой для выявления наиболее плотных связей может быть использована формула [16]:

$$\Gamma = \langle U_i, F_\Gamma, A, \theta, B_i, n \rangle, \quad (1)$$

где U_i – множество типов одной категории признаков;

$i = 1, \dots, k$, где k – количество множеств признаков;

$F_\Gamma = F_\Gamma(A, \theta)$ – множество альтернатив изменения объекта;

$A = \{a_i\}$ – множество отношений признаков (межтиповые отношения), $i = 1, \dots, l$, где l – количество множеств отношений;

θ – множество состояний каркаса;

B_i – множество правил изменения состояний каркаса, где $i = 1, \dots, m$ правила;

n – такт моделирования каркаса.

При изменении тактов моделирования изменяется конфигурация всей структуры. Эта формула может быть интерпретирована двумя операциями. Например, связи строятся в нескольких структурах, каждое дерево от своей первой вершины графа. Тогда с каждым тактом каркас деревьев будет дополняться новыми связями и строиться по спектрам графов. В формуле (1) уплотнение связей происходит по признакам семантически близких терминов, в противном случае алгоритм на графах пересчитывает структуры с самого начала по правилам B_i системного и семантического уровней. Последний из них зависит от формулирования синтаксического анализатора, где каждому множеству признаков присваиваются нетерминальные значения, полученные по правилам устанавливаемого алфавита порождающей грамматики Н. Хомского, а вложенность процедур этого уровня может быть подчинена рекурсивности его универсальной грамматики [17]. Для этого состояние системы в каждом такте может быть выделено как разность текущего и предыдущего состояния системы при условии, что последнее всегда либо больше, либо равносильно в совокупности значений выводимых спектров, для чего системный уровень отношений на каркасе для графа G определяется как сумма спектральных значений текущего и предыдущего состояний, а формулирование спектров следующим образом (представлен на примере трех рекурсивных вложенностей для $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_{p-1}$):

$$Spec(G) = \begin{cases} q(\lambda_0), q(\lambda_1), \dots, q(\lambda_{q-1}) \\ r(\lambda_0), r(\lambda_1), \dots, r(\lambda_{r-1}), \\ s(\lambda_0), s(\lambda_1), \dots, s(\lambda_{s-1}) \end{cases}$$

$$(q, r, s) \in G(w),$$

$$p \leq w,$$

где λ – все собственные значения графа;

$w(\lambda)$ – все экстремумы значений q, r, s [18].

Предложенное сочетание алгоритмов позволит выделить каркасы графов в виртуальную структуру по принципу близости связей к объекту на основе свойств их рекурсивности, что удовлетворяет цели исследования. Согласно построению, граф будет вложенным и метрики графа будут иметь ненулевое значение. Необходимо поместить и занумеровать ребра тем или иным способом, а его вершины – строками длины из нулей и единиц (что соответствует самой простой матричной структуре) с четным числом единиц так, что квадрат евклидова расстояния между двумя такими строками вдвое больше длины пути, соединяющего вершины в графе. Так как граф (или произвольная метрика в конкретном случае) вложенный, то метрика кратчайшего пути является линейной комбинацией с неотрицательными коэффициентами разрезанных полуметрик [19]. Отсюда, возвращаясь к задаче построения нового каркаса на предложенных исчислениях, операции, переводящие один многогранник в структуру другого, сводятся к прямому произведению, построению призмы, вытягиванию, усечению, капингу, построению пирамиды, шамферингу и амбо-операции [19]. Могут быть построены проекции графов в пространстве, где исходными данными являются каркасы фуллеренов, полуправильные полиэдры, полуправильные n -многогранники. Полуправильногранный n -многогранник – это правильногранный n -многогранник с эквивалентными вершинами. Он также является квазиправильным, с транзитивными вершинами и ребрами и его проще всего использовать как при построении каркасов на графах, так и вычислении рекурсивной вложенности, которая, в свою очередь, легко рассчитывается как любой алгоритм по своим состояниям системы или ее отдельного объекта (в решениях семантики Крипке [20]). Для этого остается определить, каким образом может создаваться образ цифрового двойника открытых источников в получаемых значениях рекурсивных вложенностей. Для этого используем квазипроецию – отображение объектов рекурсии в себя, которое на образе этих рекурсий в схожих алгоритмах определяется аналогично и может быть основанием для проекции из риманова пространства, для чего значения (1) в тензорных размерностях транспонируются в римановом пространстве, определяемом набором объектов и отношений между объектами, которые также определяются набором функций. Далее для переноса может быть использована категория *Matr* [21] из значений, полученных в *Matr_{n*m}(k)*, что также может быть получено из спектров графов [22] и интерпретировано далее как как нетеровы кольца и гладкие алгебры [23, 24]). И тогда происходит перенос свойств графов в топологическом смысле из гомеоморфизмов на эндоморфизмы – морфизмы объекта категории в себя с основными свойствами, что не противоречит формулированию рекурсий, однако добавляет новые правила через функторы на основе перебора. Следовательно, наша задача определяется множеством функций, описывающих отношения этих объектов в пространстве. Тогда можно определить поверхность как набор решений системы функций, которые принимают ненулевое значение и возможно объединение множества правил в кластер или категорию для сопоставления одной метрики с другими, смежными с ней. То есть метрики разных объектов будут согласованы. Мы берем метрический тензор в базе, как правило, вычисления длины любого вектора. Описанное предложение становится допустимым для интерпретации, и следует вывод о возможности создания алгоритмов переноса на заданные условия для систем, а том числе если требуется ввод обратного тензора для поля в отрицательных векторных значениях, что обозначает возможность сжатия в точку или наличие обратной функции. Основанием для таких алгоритмов может послужить вводимый для этих условий математический аппарат на алгебрах Ли и группах Ли.

Суть в том, что для воссоздания нужной структуры связей в проекциях остается одна неопределенность в вычислениях системы – итерационный ввод значений и создание универсальных покрытий, создающих образ данных на плоскости. Наиболее доступными для этих целей и являются алгебры Ли и группы Ли, к которым мы обращаемся на основании выведенных алгоритмов. Гомоморфизм алгебры Ли может быть представлен в образе объекта через подалгебры Ли при условии естественного преобразования проекцией [25]. Они представимы в самом простом виде через коммутативные диаграммы, которые также могут быть подчинены правилам работы с рекурсиями, а также функторами. При работе с категориями используется функтор Ли, когда это представимо в произвольном гомоморфизме групп, так как выводимое поле связано. И тогда для любого вводимого функционального отношения имеет место стандартный ассоциативный закон,

который просто использовать в отношении множеств различных объектов, особенно если они касаются категорий.

При условии же применения алгебры Ли над полем предположим гомоморфизмы алгебр Ли, и если отображения являются линейными, то они могут оперировать с векторными пространствами. Если алгебры Ли небольшой размерности, выводят скаляры структурных констант относительно их базисов, а также тензоры, предложенные нами ранее. Так как данные до ввода в пространство представляют собой спектры графов, упорядоченные в детерминантных матрицах, то работа на свойствах изоморфности спектров сводится к преобразованию композиций матриц – невырожденных и ортогональных. При этом, так как базисы могут быть представлены даже в виде структурного уравнения, множества спектров также определимы в алгебрах Ли, которые могут быть изоморфны n -мерным алгебрам Ли вместе с векторным произведением. Теперь, возвращаясь к основным алгоритмам, следует заметить, что описываемые в алгебрах и группах Ли системы предполагают возможность сравнения деревьев графа с другими деревьями и построение новых объектов, а также выделение ранее неопределенных связностей. Таким образом, с помощью этого шага и образуются новые виды каркасов графов, помимо рекурсий, которые естественным образом появляются при расчете каждого утолщения (сложения ребер) в соответствующих алгоритмах.

После моделирования сочетаний алгоритмов на графах также могут быть получены матрицы алгебры Ли и выведены функторы для воспроизведения данных записей как структур связности. Связность может быть определена в каждой плоскости формы со значениями семантики в алгебре Ли комплексной линейной группы. Такие группы всегда могут быть обратно привязаны к записям, так как они представимы в матричной форме и выполнимо условие комплексной линейной связности в квазипроециях. Для стандартной матрицы, элементами которой являются линейные формы в точке x , возможно представить связность как некоторую окрестность U формы $\omega_U = (\omega_j^i)$ при условии $(i, j = 1, \dots, m; i \neq j)$ со значениями в алгебре Ли комплексной линейной группы [26]. Отсюда справедливо, что если точка x с комплексными значениями будет иметь $U \cap V \neq \emptyset$, такая матрица переведет точечный базис из U в V , что также справедливо для вывода образа в квазипроекции. В общей же системе правил мы проектируем пространства, задавая признаки (меры), содержащиеся в записях базовых исчислений транзитивности, которые по свойствам подчинены формулированию категорий, снабженных по своей природе морфизмами. Переносимое свойство в этом случае может быть описано в отношениях морфизмов, которые выделяются как отдельная математическая структура, полученная из связей, выделенных ранее как виртуальный объект, переведенных далее в функторы и преобразованных в связанные алгоритмы.

3. Анализ полученных результатов

Открытые источники являются триггерами экономического роста во всех развитых странах. Их исследования позволяют компаниям не только эффективно влиять на мировую экономику, но и решать свои собственные текущие проблемы. Метод, предложенный в этом материале, позволяет спроектировать структуру цифрового двойника для задач различного назначения, а также обеспечить протоколирование запросов, агрегацию, композицию и накопление данных, анализ больших данных, эмерджентное разделение и сингуляризацию потоков.

Отношения между предметно-ориентированной областью (ПОО), состоящей из множества объектов и связей между ними, знания о ПОО, существующие в открытом Internet-пространстве (ИП), и знания о ПОО и ИП у лица, принимающего решение (ЛПР), порождает семантические (функторные, нелинейные – логические) связи, выражаемые виртуальными объектами. Общей системной моделью этих трех областей может быть порождающий предметно-ориентированный мета-язык, который позволит сформировать грамматически правильные алгоритмы для ЛПР.

Учитывая, что первоначальные знания представляются в форме контента на естественном языке, где их частотная характеристика определяется законом Ципфа [27], для дальнейшего формирования метрических пространств необходимо, чтобы рассмотренные в статье нечеткие множества сохраняли групповые свойства при их изоморфном или гомоморфном отображении. Для соблюдения этих требований необходимо расширить частотный анализ контента на естественном языке по характеристикам синонимии и антонимии.

Заключение

Для нас исследования продолжают по настоящее время, и главной целью является возможность обучения искусственного интеллекта собственному выбору на экспертном уровне, выявление зависимостей между различными пространствами. Эта область мало изучена, поэтому существует огромное количество вопросов с точки зрения математики, на которые приходится искать новые нестандартные решения. Также сложностью является достаточность объема входных данных, получаемых из открытых источников. По этой причине наши вычисления чаще всего основываются на открытых данных социальных сетей как наиболее содержательных с этой точки зрения. Следует отметить, что все приведенные алгоритмы являются лишь набором для решения задач связности объектов и для выведения других характеристик возможно предложить другие их сочетания и комбинации алгоритмов, не описанные в этом материале.

Предложенная методика формального грамматического исчисления, основанная на порождающей грамматике Н. Хомского, может быть реализована с применением информационных технологий кроссплатформенного программирования и языков высокоуровневого программирования типа BPMN, OWL и др.

Список литературы

1. Работа с открытыми данными: особенности публикации и использования в российском правовом поле. Аналитический доклад. URL: <https://www.infoculture.ru/wp-content/uploads/2020/11/OpenDataReview.pdf>.
2. Berlanga R., Jiménez-Ruiz E., Nebot V. Exploring and linking biomedical resources through multidimensional semantic spaces // *Semantic Web Applications and Tools for Life Sciences (SWAT4LS) 2010*. Berlin, Germany, 10 December 2010. DOI: 10.1186/1471-2105-13-S1-S6
3. Куроткин В.А. Применение итерационного алгоритма Шульца в рекуррентных алгоритмах параметрической идентификации // *Молодой ученый*. 2014. № 18 (77). С. 251–255.
4. Антонов В.В., Куликов Г.Г., Антонов Д.В. Теоретические и прикладные аспекты построения моделей информ. систем. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, Germany, 2011. 144 с.
5. Горелова И.С. Позиционные игры на взаимодействующих когнитивных моделях // *Труды 6-й Международной конференции «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций»*. 2006. С. 185–191.
6. Катанаев М.О. Геометрические методы в математической физике. Приложения в квантовой механике. Часть 2 // *Лекционные курсы НОЦ*. Вып. 26. М.: МИАН, 2015. 186 с. ISBN 978-5-98419-066-4, DOI: 10.4213/book1604
7. Павлов С.Н. Системы искусственного интеллекта: учеб. пособие: в 2 ч. Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2011. Ч. 1. 175 с.
8. Zadeh L.A. Fuzzy Sets // *Information and Control*. 1965. Vol. 8, iss. 3. P. 338–353.
9. Алгоритмы: построение и анализ: пер. с англ. / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн. 2-е изд. М.: Издат. дом «Вильямс», 2013. С. 653–656.
10. Kulikov G.G., Antonov V.V., Antonov D.V. Semantic-mathematical a subject domain for designing system of the allocated data processing // *15-я Международная конференция «Компьютерные науки и информационные технологии» (CSIT'2013)*. 2013. Т. 1. С. 251–254.
11. Ford L.R. Jr., Fulkerson D.R. *Flows in Networks*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1962. 194 p. ISBN: 978-0-691-14667-6
12. Kumar K., Namboodiri M.N.N., Serra-Capizzano S. Perturbation of operators and approximation of spectrum // *Proceedings of the Indian Academy of Sciences: Mathematical Sciences*. 2014. Vol. 124. P. 205–224. DOI: 10.1007/s12044-014-0169-4
13. Van der Hofstad R. *Random Graphs and Complex Networks*. Vol. 1. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. 337 p. DOI: 10.1017/9781316779422
14. Алгоритмы: построение и анализ: пер. с англ. / Томас Кормен [и др.]. 3-е изд. М.: Вильямс, 2013. 1323 с. ISBN 978-5-8459-1794-2.
15. Печаткин В.В., Михайлова Я.С. Методологический подход к оценке индикаторов экономической безопасности территориальных систем в условиях глобальных вызовов // *Обще-*

ственная безопасность, законность и правопорядок в III тысячелетии. 2017. Вып. 3, ч. 2. С. 269–276.

16. Fitch W.T., Hauser M.D., Chomsky N. The evolution of the language faculty: Clarifications and implications // *Cognition*. 2005. Vol. 97 (2). P. 179–210. DOI: 10.1016/j.cognition.2005.02.005

17. Antonov V.V., Voyakovskaya Y.S., Suvorova V.A. Method for Determining the Digital Twin Structure of Distributed Open Sources // 2022 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). Sochi, Russian Federation; 2022. P. 881–885. DOI: 10.1109/RusAutoCon54946.2022.9896354

18. Деза М., Гришухин В.П., Штогрин М.И. Изометрические полиэдральные подграфы в гиперкубах и кубических решетках: моногр.: пер. с англ. М.: МЦНМО, 2008. 192 с. ISBN 978-5-94057-363-0.

19. Оноприенко А.А. Семантика типа Крипке для пропозициональной логики задач и высказываний // Математический сборник. 2020. Т. 211, № 5. С. 98–125. DOI: 10.4213/sm9275

20. Маклейн С. Категории для работающего математика: пер. с англ. М.: Физматлит, 2004. 352 с. ISBN 5-9221-0400-4.

21. Beasley L.B., Kang K.-T., Song S.-Z. Linear operators that preserve sets of primitive matrices // *Journal of the Korean Mathematical Society*. 2014. Vol. 51, no. 4. P. 773–789.

22. Masayoshi Nagata. *Local Rings*. New York, London: John Wiley & Sons, 1962. 234 p. (Interscience Tracts in Pure and Applied Mathematics. Number 13).

23. Badawi A., Coykendall J. (Eds.). *Advances in Commutative Algebra: Dedicated to David F. Anderson*. Springer, 2019. 280 p. (Trends in Mathematics). ISBN 978-981-13-7027-4.

24. Исаев А.П., Рубаков В.А. Теория групп и симметрий. Книга 1: Конечные группы. Группы и алгебры Ли. Изд. 2, испр. и доп. URSS, 2022. 504 с. ISBN 978-5-9710-9321-3.

25. Лихнерович А. Теория связностей в целом и группы голономий / пер. с фр. С.П. Финикова; под ред. В.В. Рыжкова. М.: Изд-во иностр. лит., 1997. 216 с. ISBN 978-5-80100-224-8.

26. Манин Ю.И. Закон Ципфа и вероятностные распределения Левина // Функциональный анализ и его приложения. 2014. Т. 48, № 2. С. 51–66. DOI: Mi faa3141

References

1. *Rabota s otkrytymi dannymi: osobennosti publikatsii i ispol'zovaniya v rossiyskom pravovom pole. Analiticheskiy doklad* [Working with open data: features of publication and use in the Russian legal field. Analytical document]. (In Russ.) Available at: <https://www.infoculture.ru/wp-content/uploads/2020/11/OpenDataReview.pdf>.

2. Berlanga R., Jiménez-Ruiz E., Nebot V. Exploring and linking biomedical resources through multidimensional semantic spaces. *Semantic Web Applications and Tools for Life Sciences (SWAT4LS) 2010*. Berlin, Germany, 10 December 2010. DOI: 10.1186/1471-2105-13-S1-S6

3. Kurotkin V.A. [Application of the Schultz iterative algorithm in recurrent parametric identification algorithms]. *Young scientist*. 2014;18(77):251–255. (In Russ.)

4. Antonov V.V., Kulikov G.G., Antonov D.V. *Teoreticheskiye i prikladnyye aspekty postroyeniya modeley informatsionnykh sistem* [Theoretical and applied aspects of constructing inform models systems]. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, Germany; 2011. 144 p. (In Russ.)

5. Gorelova I.S. [Positional games on interacting cognitive models]. In: *Trudy 6-y Mezhdunarodnoy konferentsii "Kognitivnyy analiz i upravleniye razvitiyem situatsiy"* [Proceedings of the 6th International Conference "Cognitive analysis and Situation Development Management"]; 2006. P. 185–191. (In Russ.)

6. Katanaev M.O. Geometrical methods in mathematical physics. Applications in quantum mechanics. Part 2. In: *Lekts. Kursy NOC*. Moscow: Steklov Math. Institute of RAS; 2015. Iss. 26. 186 p. (In Russ.) ISBN 978-5-98419-066-4, DOI: 10.4213/book1604

7. Pavlov S.N. *Sistemy iskusstvennogo intellekta: ucheb. posobiye: v 2 ch.* [Artificial intelligence systems: a textbook]. Tomsk: Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics; 2011. Part. 1. 175 p. (In Russ.)

8. Zadeh L.A. Fuzzy Sets. *Information and Control*. 1965;8(3):338–353.

9. Cormen T., Leiserson Ch., Rivest R., Stein C. *Introduction to algorithms*. Transl. from Engl. 2nd ed. Moscow: Vil'yams Publ., 2013. P. 653–656. (In Russ.)
10. Kulikov G.G., Antonov V.V., Antonov D.V. Semantic-mathematical a subject domain for designing system of the allocated data processing. In: *The 15th International workshop on computer science and information technologies (CSIT'2013)*. 2013. Vol. 1. P. 251–254.
11. Ford L.R. Jr., Fulkerson D.R. *Flows in Networks*. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1962. 194 p. ISBN: 978-0-691-14667-6.
12. Kumar K., Namboodiri M.N.N., Serra-Capizzano S. Perturbation of operators and approximation of spectrum. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences: Mathematical Sciences*. 2014. Vol. 124. P. 205–224. DOI: 10.1007/s12044-014-0169-4
13. Van der Hofstad R. *Random Graphs and Complex Networks. Vol. 1*. Cambridge: Cambridge University Press, 2017. 337 p. DOI: 10.1017/9781316779422
14. Cormen T.H. et al. *Introduction to algorithms*. 3rd ed. Cambridge, Massachusetts etc.: The MIT Press; 2009. ISBN 978-0-2620-3384-8.
15. Pechatkin V.V., Mikhaylova Ya.S. [Methodological approach to the assessment of indicators of economic security of territorial systems in the context of global challenges]. *Obshchestvennaya bezopasnost', zakonnost' i pravoporyadok v III tysyacheletii* [Public security, law and order in the third millennium]. 2017;3(2):269–276. (In Russ.)
16. Fitch W.T., Hauser M.D., Chomsky N. The evolution of the language faculty: Clarifications and implications. *Cognition*. 2005;97(2):179–210. DOI: 10.1016/j.cognition.2005.02.005
17. Antonov V.V., Voyakovskaya Y.S., Suvorova V.A. Method for Determining the Digital Twin Structure of Distributed Open Sources. *2022 International Russian Automation Conference (RusAutoCon)*. Sochi, Russian Federation; 2022. P. 881–885. DOI: 10.1109/RusAutoCon54946.2022.9896354
18. Deza M., Grishukhin V., Shtogrin M. *Scale-isometric polytopal graphs in hypercubes and cubic lattices. Polytopes in hypercubes and Zn*. London: Imperial College Press., 2004. 188 p. ISBN 978-1-86094-421-5, DOI: 10.1142/p308
19. Onoprienko A.A. Kripke semantics for the logic of problems and propositions. *Sbornik: Mathematics*. 2020;211(5):709–732. DOI: 10.1070/SM9275
20. Mac Lane S. *Categories for the working mathematician*. Springer-Verlag; 1998. 314 p. ISBN 0-387-98403-8.
21. Beasley L.B., Kang K.-T., Song S.-Z. Linear operators that preserve sets of primitive matrices. *Journal of the Korean Mathematical Society*. 2014;51(4):773–789.
22. Masayoshi Nagata. *Local Rings*. New York, London: John Wiley & Sons, 1962. 234 p. (Inter-science Tracts in Pure and Applied Mathematics. Number 13).
23. Badawi A., Coykendall J. (Eds.). *Advances in Commutative Algebra: Dedicated to David F. Anderson*. Springer, 2019. 280 p. (Trends in Mathematics). ISBN 978-981-13-7027-4.
24. Isayev A.P., Rubakov V.A. *Teoriya grupp i simmetriy. Kniga 1: Konechnyye gruppy. Gruppy i algebrы Li* [Theory of groups and symmetries. Book 1: Finite Groups. Lie groups and algebras]. Ed. 2, corrected and supplemented. URSS; 2022. 504 p. (In Russ.) ISBN 978-5-9710-9321-3
25. Lichnerowicz, André. *Théorie Globale Des Connexions Et Des Groupes D'holonomie*. Roma: Edizioni cremonese, 1955.
26. Manin Yu.I. Zipf's Law and L. Levin Probability Distributions. *Functional Analysis and Its Applications*. 2014;48(2):116–127. DOI: 10.1007/s10688-014-0052-1

Информация об авторах

Антонов Вячеслав Викторович, д-р техн. наук, проф. кафедры автоматизированных систем управления, Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия; antonov.v@bashkortostan.ru.

Куликов Геннадий Григорьевич, д-р техн. наук, проф. кафедры автоматизированных систем управления, Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия; gennadyg_98@yahoo.com.

Вояковская Яна Станиславовна, старший преподаватель кафедры автоматизированных систем управления, Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия; in.edem@yandex.ru.

Пальчевский Евгений Владимирович, преподаватель, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия; teelxp@inbox.ru.

Information about the authors

Vyacheslav V. Antonov, Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the Department of Automated Control Systems, Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia, antonov.v@bashkortostan.ru.

Gennady G. Kulikov, Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the Department of Automated Control Systems, Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia, gennadyg_98@yahoo.com.

Yana S. Voyakovskaya, Senior Lecturer of the Department of Automated Control Systems, Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia, in.edem@yandex.ru.

Evgeny V. Palchevsky, Lecturer, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia, teelxp@inbox.ru.

Статья поступила в редакцию 07.02.2023

The article was submitted 07.02.2023