

Феномен стохастического метамоделирования нейроцифровых научно-образовательных экосистем

С.О. Крамаров, О.Р. Попов, И.О. Темкин

Аннотация— Одной из ключевых тенденций последних лет является возможность создания и трансформации знаний на основе цифровой образовательной экосистемы и искусственного интеллекта. Предложена концепция стохастического метамоделирования нейроцифровых научно-образовательных экосистем (НЦНОЭ) – феномена цифровых двойников, имитирующих организационные системы с выраженным характером передачи знаний. Реализуемая методология объединяет модели сетевого анализа (Mn подход) и вероятностные модели дистрибутивной семантики (Ms подход). Обоснован нейросетевой подход к кластеризации результатов поиска информации, размещенных в научных библиографических, академических, образовательных базах данных и внешних сетевых ресурсах. Рассмотрены общие результаты апробации предложенного подхода на основе обработки данных сетей цитирования научных публикаций и сетей научных терминов, составленных из выборки библиографических баз данных arXiv, Scopus и Google Scholar. Представлены графические результаты моделирования вероятности достижения порога перколяции сетей цитат arXiv раздела по теоретической физике высоких энергий hep-th. Верификация факта существования механизмов взаимодействия между моделями Mn и Ms подтверждает то, что представляемый нами метод рабочий. Теоретическое значение исследования заключается в разработке новых подходов к комплексному стохастическому моделированию эффективности деятельности динамических НЦНОЭ с использованием оригинальных вычислительных методов и алгоритмов.

Ключевые слова— алгоритм, нейроцифровая научно-образовательная экосистема, моделирование, параметр, семантика, сеть, стохастическая модель.

I. ВВЕДЕНИЕ

Одним из ключевых путей перехода в направлении интеллектуализации обучения является возможность создания и трансформации знаний на основе цифровой

научно-образовательной экосистемы и искусственного интеллекта (ИИ) [1].

Активным объектом исследования выступают новые информационные модели образовательных систем, в которых сочетаются технологически и содержательно разнородные элементы. SoftComputing или мягкий вычислительный алгоритм построения сложных интеллектуальных систем создается с помощью двух базовых элементов - адаптивности и теоретических знаний и имеет набор инструментов, которые хорошо дополняют друг друга, и часто используются совместно, такие как нечеткая логика, нейронные сети, генетические алгоритмы, теория хаоса, теория перколяции и так далее.

Характеристики интеллектуальной системы (ИС) – лучше всего понимаются в динамической интеграции информационных и системных свойств. Особенность самоорганизации ИС - это поддержание автономности сетью взаимодействий ее составных частей и диссипативность [2-4]. В случае интеллектуальных систем это выражается в приращении информации, знаний [5].

ЦЭ в современной экономике являются результатом объединения корпоративного сотрудничества и информационных технологий [6].

Таким образом, интеллектуальную цифровую научно-образовательную экосистему (ИЦНОЭ), можно определить как автономную ЦЭ, нацеленную на производство новых знаний [7]. В таком понимании – она может выступать как реальной организацией, так и виртуальной системой. Концепция «цифрового двойника» (Digital Twin, DT) возникла в бизнесе, при решении задач поиска эффективных инструментов для прогнозирования и управления технической стратегией [8].

ИИ представляет собой одну из наиболее значимых и перспективных технологий XXI века, играющую ключевую роль в трансформации различных сфер человеческой деятельности [9]. Это область исследований в области компьютерных наук, которая разрабатывает и изучает методы, технологии и программное обеспечение, позволяющие машинам в максимальной степени достигать определенных целей при использовании определенных инструментов.

Машинное обучение, ML (Machine Learning) — область ИИ, направленная на разработку алгоритмов, которые позволяют системам обучаться и улучшать свои

Статья получена 17 ноября 2024.

Статья публикуется по материалам выступления на Международном конгрессе "Современные проблемы компьютерных и информационных наук", прошедшем в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова 21-23 ноября 2024 года.

С.О. Крамаров – Сургутский государственный университет (maoovo@yandex.ru)

О.Р. Попов – Южное отделение МОО «Академия информатизации образования» (cs41825@aanet.ru)

Темкин И.О. – Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

функции на основе загруженных данных. При этом используются такие методы, как регрессия, классификация, кластеризация и метод нейронных сетей [10].

Нейронные сети, NN (Neural Networks) — алгоритмы, созданные по подобию работы биологических нейронных сетей и используемые для моделирования сложных паттернов и прогнозирования. Включают простые сети (например, многослойный перцептрон) и сложные архитектуры (например, сверточные и рекуррентные нейронные сети) [11].

Обработка естественного языка, NLP (Natural Language Processing)— технологии, направленные на анализ и обработку искусственным интеллектом человеческих языков, а также позволяющие машинам понимать и генерировать человеческую речь [12].

Внедрение ИИ в образовательный процесс открывает новые горизонты для эффективного персонализированного обучения и тематике, находящейся на стыке исследований в области искусственного интеллекта и педагогической практики, посвящен ряд работ [13-16].

Применение в научно-образовательной среде информационных систем, в которых сочетаются возможности «интеллектуальной цифровой экосистемы» (ИЦЭ) и «интеллектуального цифрового двойника», исследовано в меньшей степени.

Формируется феномен гибридной «нейро-цифровой» научно-образовательной экосистемы, операционное ядро которой «основано на применении методов гибридного вычислительного интеллекта, обеспечивающего нейро-цифровую трансформацию (информации, данных, знаний, идей, мыслей и т. д.) и когнитивный генезис на разных уровнях нейро-цифровой экосистемы»[17].

Для моделирования таких сложных, нелинейных, высокоразмерных, насыщенных, динамических систем применяются, развиваемые в теории информации и прикладной математике, вероятностные подходы и методы сетевого анализа.

II. ИНСТРУМЕНТ И МЕТОДЫ

Сформируем общую расширенную постановку методологии для построения интеллектуального цифрового двойника с помощью парадигмы стохастического моделирования.

Дистрибутивная гипотеза лингвистики (distributional hypothesis) основана на том, что, статистические зависимости употребления слов и терминов (термов), их частотность и порядок повторения могут быть использованы для нахождения заложенного в текст смысла.

Алгоритмы информационного поиска, которые используют данную гипотезу для выявления многих аспектов семантики, применяя статистические методы к большим корпусам текстов, исходят из положения, что каждый документ — это некоторый баланс тем. Назовем данный подход к моделированию – семантическим S.

Выявление трендов в ИЦЭ реализуется двумя методами. Наиболее распространены генеративные

вероятностно тематические модели (PTM, probabilistic topic model). В процессе, так называемой мягкой кластеризации (soft clustering), выявляется и фиксируется тематика политематических по сути научно-информационных потоков, представляя каждую тему дискретным распределением вероятностей терминов, а каждый документ — дискретным распределением вероятностей тем [18]. Но предсказывают вероятности появления слов в документах, и в последнее время делают это хорошо, глубокие нейронные сети типа BERT или GPT [19].

Тематическая модель, как и нейросетевая, преобразует слова и тексты в их векторные представления, или эмбединги (embedding). Тематический эмбединг — это вектор вероятностей тем. При этом наиболее ценное свойство тематических моделей в том, что коллекция кластеризуется на интерпретируемые темы, которые можно описать. Нейросетевые большие языковые модели (LLM) строят эмбединги, которые не интерпретируемы, но обладают лучшей предсказательной и генеративной способностью [20]. В этой связи представляется перспективным интегративное развитие нейросетевых тематических моделей (NTM, neural topic model).

Другая интерпретация интеллектуальных систем – графовая или сетевая N. Моделирование сети понятий позволяет сделать вывод о структурных особенностях и взаимосвязях ее компонентов, получить анализ групп тем путем соединения концепций. Это достигается применением методов теории перколяции и перколяционных геометрических фазовых переходов и фрактального анализа спектров случайных процессов в информационном пространстве [21].

Оба подхода - семантический S и сетевой N имеют свои сильные и слабые стороны. Сосредоточение на статистике, распределениях и контекстно-близких зависимостях позволяет находить схожие понятия, определять значения слов или проверять логическую корректность. В свою очередь, динамика и нечеткость сети необходима, потому что семантика дистрибутивных моделей, как правило, фиксирована.

Проблема, которую мы решаем, заключается в объединении этих двух подходов для анализа более сложных явлений.

Каждая из стохастических моделей требует последовательного анализа, как собственных внутренних механизмов, так и механизмов их взаимодействия между собой.

На рис. 1 показана сложная иерархическая структура взаимосвязей стохастического метамоделирования нейроцифровых экосистем, представляющая собой методический макет исследования.

Комплекс сетевых, перколяционных и фрактальных метрик собирается в процессе перколяционного моделирования (PM) и фрактального анализа (FA). Возникновение перколяционных кластеров и фрактальных массивов в информационном пространстве взаимосвязей авторов и сетей цитирования является отображением информационных процессов в определенной тематической области, что сопровождается

появление новых научных тематик. В рамках методологии стохастического моделирования данные механизмы взаимодействия выражаются прямой связью $M_n \rightarrow M_s$.

Генеративная вероятностно тематическая модель (PTM) фиксирует и интерпретирует тематику политематических научно-информационных потоков, нейросетевые тематические модели (NTM) генерируют и предсказывают вероятности появления слов в

документах. Сгенерированный комплекс систематизированных концепций, терминов и тем, выявленных и упорядоченных в процессе PTM и NTM, влияет на оптимизацию и детализацию в настройке параметров экспериментов PM и FA, формирует новые области исследования. Данные механизмы взаимодействия требуют постановки эксперимента с учетом обратной информационной связи $M_s \rightarrow M_n$ (см. рис. 1).

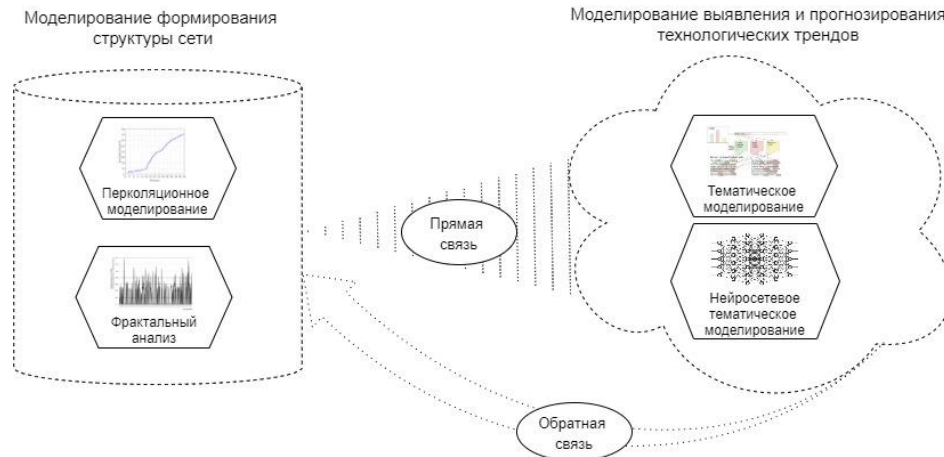


Рис.1: Методический макет стохастического метамоделирования нейроцифровых научно-образовательных экосистем
Источник: составлено авторами.

III. АПРОБАЦИЯ И ВАЛИДАЦИЯ

Апробация предложенного подхода к исследованию ИЦЭ проводилась на основе обработки данных сетей цитирования научных публикаций и сетей научных терминов.

В ходе апробации методологии моделей направления M_n проведены обширные исследования динамики формирования научно-образовательных сетей с помощью моделирования методом Монте-Карло.

Получены многочисленные результаты по изучению параметров, характеризующих общее состояние структуры сети и состояние связей сети [22], а также критические показатели перколяции на примере исследования сетей терминов библиографических баз данных (ББД) Scopus и Google Scholar [23], а также сетей

цитат arXiv раздела hep-th по теоретической физике высоких энергий, включая их полное дерево цитирования [24]. Так, анализ зависимости сетевых параметров от временного интервала показывает, что в промежутке 1993-1994 годов наблюдается резкое увеличение показателя гигантского компонента (Largest Component), что свидетельствует о его наличии в сети цитат hep-th (рис. 2). При определенном критическом значении график зависимости демонстрирует резкий рост от очень малого значения до значимой конечной доли всей системы, что характерно для перколяционного фазового перехода. График перестает быть линейным, что сигнализирует об образовании гигантского компонента в определенный момент времени, равный 10 месяцам.

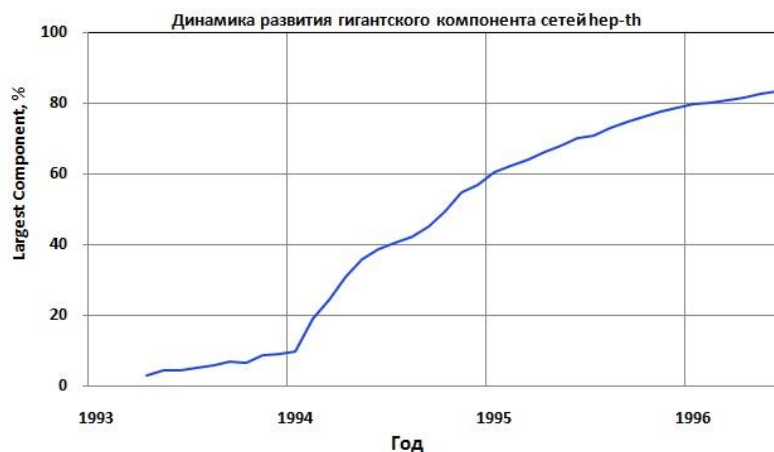


Рис.2: Темпоральная зависимость гигантского компонента сетей hep-th
Источник: составлено авторами.

В ходе апробации моделей направления M_s и структурирования данных для РТМ, при формировании глоссария прогностических терминов на базе сетевого сервиса «Википедия», применен комплексный алгоритмический подход, согласно которому интегрирован ряд условий, объединяющих возможности графового и семантического подходов [25].

В настоящее время на основе исследовательской базы данных, составленной из сети аннотаций взаимосвязанных статей раздела hep-th по теоретической физике высоких энергий БД arXiv, проводятся исследования по оптимизации гиперпараметров и регуляризаторов тематических моделей (LDA и BigARTM), апробируются и калибруются основные метрики оценки качества РТМ. При исследовании нейрочисловых научно-образовательных экосистем подходы классического тематического моделирования и нейросетевые архитектуры, в частности BERTopic, комбинируются при построении контекстно-зависимого векторного представления слов.

Для решения прикладной цели исследования разрабатывается комплексный алгоритм взаимодействия тематической модели BigARTM [20] и модифицированной версии стохастической модели прогнозирования динамики процессов, происходящих в информационном пространстве (SPM) [26].

Апробация данной модели проводилась в отношении концептуальных запросов, составленного на основе текстов научных статей 2010-2020 гг. по тематике физики высоких энергий. Аннотации данных статей выступали в качестве технологических научных прогнозов, задавая базовый вектор прогнозируемого события в прошедшем по времени информационном пространстве сети hep-th 1992-2003 гг. в формате дескриптора его текстового описания.

Результаты моделирования времени вероятности Q достижения среднего порога перколяции $l = 0.5$ от времени t при заданном стандартном наборе гиперпараметров тематической модели представлены в графическом виде на рис.3.

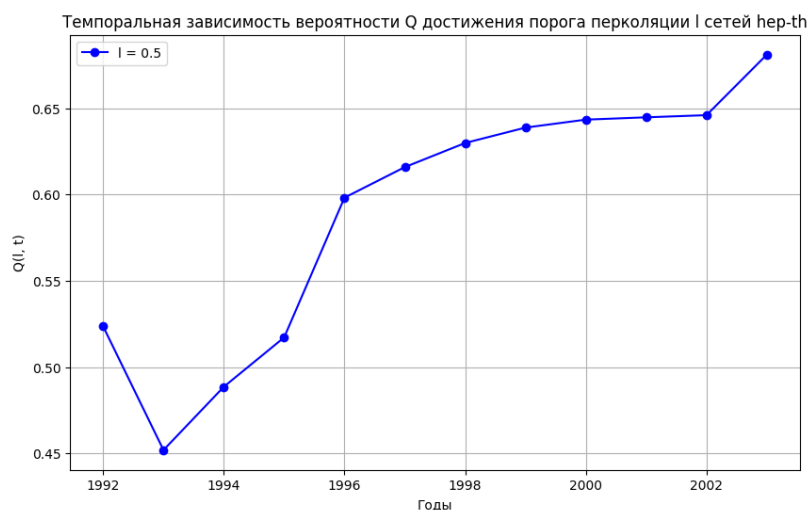


Рис.3: Графическое представление результатов моделирования вероятности преодоления порога перколяции сетей hep-th на основе тематической модели BigARTM

Источник: составлено авторами.

Сопоставление вышеуказанных темпоральных зависимостей показывает временные корреляции на интервале 1994-1996 гг. в достижении перколяционного фазового перехода, что свидетельствует о существовании механизмов взаимодействия между моделями направления M_n и M_s .

Верификация данного факта подтверждает то, что представляемый нами метод рабочий. После сбора полного набора данных по завершенной схеме методического макета стохастического метамоделирования (PM, FA, РТМ, NTM) будет реализована количественная валидация заявляемой методологии [27].

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена концепция и структура стохастического метамоделирования нейрочисловых научно-образовательных экосистем – цифровых

двойников, имитирующих организационные системы с выраженным характером передачи знаний.

Теоретическое значение исследования заключается в разработке новых подходов к комплексному стохастическому моделированию эффективности деятельности динамических НЦНОЭ с использованием оригинальных вычислительных методов и алгоритмов.

Существующие сегодня инструменты и технологии ИИ, применяемые к задачам формирования и сопровождения ИЦЭ, требуют вовлечения методов, которые позволяют выделить необходимые единицы в соответствующих информационных структурах, зафиксировать связи между ними, а также выявить и отобразить их семантику и ситуативный контекст. Применяемые методы моделирования структур знаний позволяют учесть особенности научно-образовательной среды.

К навыкам, необходимым в цифровую эпоху, можно

отнести критическое мышление, творческий подход к решению задач, умение работать с информацией и способность адаптироваться к быстроменяющимся условиям. Внедрение в образовательный процесс комплекса таких технологий, как ИИ, способствует достижению данных целей.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Клейнер Г. Б. Эволюция институциональных систем. М. : Наука, 2004. 240 с..
- [2] Попов, О. Р. Способ поиска параметров порядка самоорганизующихся систем: информационный аспект / О. Р. Попов // Интеллектуальные ресурсы - региональному развитию. – 2020. – № 2. – С. 64-70. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43033193>.
- [3] Еремин А. Л. Ноогенез и теория интеллекта. Краснодар: СовКуб, 2005. — 356 с.
- [4] Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. – М.: Мир, 1991. – 240 с.
- [5] Попов, О. Р. Алгоритмы построения интеллектуальных систем обработки текстовой информации для задачи анализа мнений / О.Р. Попов, Е.В. Гребенюк // Интеллектуальные ресурсы - региональному развитию. – 2021. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46659138>.
- [6] Темкин И. О., Клебанов Д. А., Дерябин С. А., Конов И. С. Построение интеллектуальной геоинформационной системы горного предприятия с использованием методов прогнозной аналитики // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3. – С. 114-125. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-3-0-114-125.
- [7] Popov, O. R. Phenomenon of Information and Informational Ecology: Interaction and Definitions on the Language of Soft Computing / O. R. Popov, V. V. Martynov // 14th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing – ICAFS-2020, Budva, Montenegro, 27–28 августа 2020 года. – Budva, Montenegro: Springer International Publishing, 2021. – P. 694-701. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46509214>.
- [8] About Some Issues of Developing Digital Twins for The Intelligent Process Control in Quarries / Deryabin, S.A., Temkin, I.O., Zykov, S.V. // Procedia Computer Science, 2020, 176, P. 3210–3216.
- [9] Шпаков, Ю. Фундаментальные принципы искусственного интеллекта. - М.: Издательство "Форум", 2016. - 240 с.
- [10] McTear M., Callejas Z. A Brief History of Artificial Intelligence / M. McTear, Z. Callejas. – 2016. – 152 p. – ISBN 978-3319265521.
- [11] Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей = The Essence of Neural Networks First Edition. — М.: Вильямс, 2001. — 288 с.
- [12] Солдатенко, Д.М. Искусственный интеллект: прошлое, настоящее и будущее[Электронный ресурс]/ Д.М. Солдатенко // Российский внешнеэкономический вестник. — 2020. — №9. — Режим доступа: <http://surl.li/acvkn> (дата обращения: 30.10.2024).
- [13] Андриюшкова О.В., Григорьев С.Г. Эмергентная система обучения // Информатика и образование. 2017;(7):17-20.
- [14] Возможности сочетания естественного и искусственного интеллектов в образовательных системах / А. М. Абдуллаева, Е. В. Аверченко, Т. С. Александрова [и др.]. – Москва : Издательский Центр РИОР, 2023. – 232 с. – ISBN 978-5-369-02124-8. – DOI 10.29039/02124-8.
- [15] Искусственный интеллект в образовании: возможности, методы и рекомендации для педагогов / Е. В. Гребенюк, Д. Г. Даниелян, С. С. Даниелян, С. О. Крамаров. – Москва : ООО "Издательский Центр РИОР", 2024. – 99 с. – ISBN 978-5-369-02147-7. – DOI 10.29039/02147-7. – EDN RSOJQJ.
- [16] Павлюк, Е.С. Анализ зарубежного опыта влияния искусственного интеллекта на образовательный процесс в высшем учебном заведении/ Е.С. Павлюк //Современное педагогическое образование —2020. —№ 1. — С. 65-72.
- [17] Основы создания нейро-цифровых экосистем. Гибридный вычислительный интеллект / А. А. Федоров, И. В. Либерман, С. И. Корягин [и др.]. – 3-е издание, дополненное. – Калининград : Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 2021. – 241 с. – ISBN 978-5-9971-0636-2. – EDN DQXRR.
- [18] Инкрементальное обучение тематических моделей для поиска трендовых тем в научных публикациях / Н. А. Герасименко, А. С. Чернявский, М. А. Никифорова [и др.] // Доклады Российской академии наук. Математика, информатика, процессы управления. – 2022. – Т. 508, № 1. – С. 106-108. Language models are few-shot learners // Advances in Neural Information Processing Systems / Ed. by H. Larochelle, M. Ranzato, R. Hadsell, M. Balcan, H. Lin. — Vol. 33. — Curran Associates, Inc., 2020. — Pp. 1877-1901.
- [19] Language models are few-shot learners // Advances in Neural Information Processing Systems / Ed. by H. Larochelle, M. Ranzato, R. Hadsell, M. Balcan, H. Lin. — Vol. 33. — Curran Associates, Inc., 2020. — Pp. 1877-1901.
- [20] Воронцов К. В. Вероятностное тематическое моделирование: теория регуляризации ARTM и библиотека с открытым кодом BigARTM. 2023. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/d/d5/Voron17survey-artm.pdf> (дата обращения: 30.10.2024).
- [21] Ming Li, Run-Ran Liu, Linyuan Lu, Mao-Bin Hu, Shuqi Xu, Yi-Cheng Zhang. Percolation on complex networks: Theory and application. Physics Reports. 907: 1–68. DOI: 10.1016/j.physrep.2020.12.003.
- [22] Попов, О. Р. Исследование распространения информации в сетях, структурированных из набора прогностических терминов. / О.Р. Попов, С.О. Крамаров // Вестник кибернетики. – 2022. – № 1(45). – С. 38-45. – DOI 10.34822/1999-7604-2022-1-38-45.
- [23] Динамика формирования связей в сетях, структурированных на основе прогностических терминов / С. О. Крамаров, О. Р. Попов, И. Э. Джариев, Е. А. Петров // Russian Technological Journal. – 2023. – Т. 11, № 3. – С. 17-29. – DOI 10.32362/2500-316X-2023-11-3-17-29.
- [24] Перколяция и формирование связности в динамике сетей цитирования данных по физике высоких энергий / С. О. Крамаров, О. Р. Попов, И. Э. Джариев, Е. А. Петров // Russian Technological Journal, принято к публикации.
- [25] Попов О. Р., Гросу А., Крамаров С. О. Комплексный сетевой алгоритм формирования глоссария контекстно-близких прогностических терминов // Современные информационные технологии и ИТ-образование. [S.l.], v. 19, n. 3, p. 684-695, oct. 2023. ISSN 2411-1473. doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.019.202304.684-695> (дата обращения: 30.10.2024).
- [26] Жуков Д. О., Хватова Т. Ю., Зальцман А. Д. Моделирование стохастической динамики изменения состояний узлов и перколяционных переходов в социальных сетях с учетом самоорганизации и наличия памяти // Информатика и ее применения. — 2021. — Т. 15. — № 1. — С. 102—110. — <https://doi.org/10.14357/19922264210114>.
- [27] Попов, О. Р. Адаптация мировых практик к проблеме долгосрочного технологического прогнозирования состояния самоорганизующихся интеллектуальных систем / О.Р. Попов // Интеллектуальные ресурсы - региональному развитию. – 2021. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46659136> (дата обращения: 30.10.2024).

The Phenomenon of Stochastic Metamodeling of Neuro-Digital Scientific and Educational Ecosystems

Sergey Kramarov, Oleg Popov, Igor Temkin

Abstract - One of the key trends in recent years is the possibility of creating and transforming knowledge based on the digital educational ecosystem and artificial intelligence. The concept of stochastic metamodeling of neuro-digital scientific and educational ecosystems (NDSEE) is proposed – the phenomenon of digital twins simulating organizational systems with a pronounced character of knowledge transfer. The implemented methodology combines network analysis models (Mn approach) and probabilistic models of distributive semantics (Ms approach). A neural network approach to clustering information search results posted in scientific bibliographic, academic, educational databases and external network resources is substantiated. The general results of the approbation of the proposed approach based on data processing of citation networks of scientific publications and networks of scientific terms compiled from samples of bibliographic databases arXiv, Scopus and Google Scholar are considered. Graphical results of modeling the probability of reaching the percolation threshold of networks of quotations from the arXiv section on theoretical high-energy physics hep-th are presented. Verification of the existence of mechanisms of interaction between the M and We models confirms that the method we present is working. The theoretical significance of the research lies in the development of new approaches to the complex stochastic modeling of the effectiveness of dynamic NDSEE using original computational methods and algorithms.

Keywords - algorithm, neuro digital scientific and educational ecosystem, modeling, parameter, semantics, network, stochastic model

REFERENCES

- [1] Klejner G. B. Evolyuciya institucional'nyh sistem. M. : Nauka, 2004. 240 s..
- [2] Popov, O. R. Sposob poiska parametrov poryadka samoorganizuyushchih sistem: informacionnyj aspekt / O. R. Popov // Intellektual'nye resursy - regional'nomu razvitiyu. – 2020. – № 2. – S. 64-70. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43033193>.
- [3] Eremin A. L. Noogenez i teoriya intellekta. Krasnodar: SovKub, 2005. — 356 s.
- [4] Haken G. Informaciya i samoorganizaciya. Makroskopicheskiy podhod k slozhnym sistemam. – M.: Mir, 1991. – 240 s.
- [5] Popov, O. R. Algoritmy postroeniya intellektual'nyh sistem obrabotki tekstovoy informacii dlya zadachi analiza mnenij / O.R. Popov, E.V. Grebenyuk // Intellektual'nye resursy - regional'nomu razvitiyu. – 2021. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46659138>.
- [6] Temkin I. O., Klebanov D. A., Deryabin S. A., Konov I. S. Postroenie intellektual'noj geoinformacionnoj sistemy gornogo predpriyatiya s ispol'zovaniem metodov prognoznoj analitiki // Gornyy informacionno-analiticheskiy byulleten'. – 2020. – № 3. – S. 114–125. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-3-0-114-125.
- [7] Popov, O. R. Phenomenon of Information and Informational Ecology: Interaction and Definitions on the Language of Soft Computing / O. R. Popov, B. V. Martynov // 14th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing – ICAFS-2020, Budva, Montenegro, 27–28 avgusta 2020 goda. – Budva, Montenegro: Springer International Publishing, 2021. – P. 694-701. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46509214>.
- [8] About Some Issues of Developing Digital Twins for The Intelligent Process Control in Quarries / Deryabin, S.A., Temkin, I.O., Zykov, S.V. // Procedia Computer Science, 2020, 176, P. 3210–3216.
- [9] Shpakov, Yu. Fundamental'nye principy iskusstvennogo intellekta. – M.: Izdatel'stvo "Forum", 2016. – 240 s.
- [10] McTear M., Callejas Z. A Brief History of Artificial Intelligence / M. McTear, Z. Callejas. – 2016. – 152 p. – ISBN 978-3319265521.
- [11] Kallan R. Osnovnye koncepcii nejronnyh setej = The Essence of Neural Networks First Edition. — M.: Vil'yams, 2001. — 288 s.
- [12] Soldatenko, D.M. Iskusstvennyj intellekt: proshloe, nastoyashchee i budushchee [Elektronnyj resurs] / D.M. Soldatenko // Rossijskiy vneshneekonomicheskij vestnik. — 2020. — №9. — Rezhim dostupa: <http://surl.li/acvkn> (data obrashcheniya: 30.10.2024).
- [13] Andryushkova O.V., Grigor'ev S.G. Emergentnaya sistema obucheniya // Informatika i obrazovanie. 2017;(7):17-20.
- [14] Vozmozhnosti sochetaniya estestvennogo i iskusstvennogo intellektov v obrazovatel'nyh sistemah / A. M. Abdullaeva, E. V. Averchenko, T. S. Aleksandrova [i dr.]. – Moskva : Izdatel'skiy Centr RIOR, 2023. – 232 s. – ISBN 978-5-369-02124-8. – DOI 10.29039/02124-8.
- [15] Iskusstvennyj intellekt v obrazovanii: vozmozhnosti, metody i rekomendacii dlya pedagogov / E. V. Grebenyuk, D. G. Danielyan, S. S. Danielyan, S. O. Kramarov. – Moskva : OOO "Izdatel'skiy Centr RIOR", 2024. – 99 s. – ISBN 978-5-369-02147-7. – DOI 10.29039/02147-7. – EDN RSOJQJ.
- [16] Pavlyuk, E.S. Analiz zarubezhnogo opyta vliyaniya iskusstvennogo intellekta na obrazovatel'nyj process v vysshem uchebnom zavedenii / E.S. Pavlyuk // Sovremennoe pedagogicheskoe obrazovanie — 2020. — № 1. — S. 65-72.
- [17] Osnovy sozdaniya nejro-cifrovyyh ekosistem. Gibrnidnyj vychislitel'nyj intellekt / A. A. Fedorov, I. V. Liberman, S. I. Koryagin [i dr.]. – 3-e izdanie, dopolnennoe. – Kaliningrad : Baltijskiy federal'nyj universitet imeni Immanuila Kanta, 2021. – 241 s. – ISBN 978-5-9971-0636-2. – EDN DQXRR.
- [18] Inkremental'noe obuchenie tematiceskikh modelej dlya poiska trendovyh tem v nauchnykh publikacijah / N. A. Gerasimenko, A. S. Chernyavskij, M. A. Nikiforova [i dr.] // Doklady Rossijskoj akademii nauk. Matematika, informatika, processy upravleniya. – 2022. – T. 508, № 1. – S. 106-108. Language models are few-shot learners // Advances in Neural Information Processing Systems / Ed. by H. Larochelle, M. Ranzato, R. Hadsell, M. Balcan, H. Lin. — Vol. 33. — Curran Associates, Inc., 2020. — Pp. 1877-1901. Levitin A. V. Algoritmy. Vvedenie v razrabotku i analiz — M.: Vil'yams, 2006. — 576 p.
- [19] Language models are few-shot learners // Advances in Neural Information Processing Systems / Ed. by H. Larochelle, M. Ranzato, R. Hadsell, M. Balcan, H. Lin. — Vol. 33. — Curran Associates, Inc., 2020. — Pp. 1877-1901.
- [20] Voroncov K. V. Veroyatnostnoe tematiceskoe modelirovanie: teoriya reguljarnizacii ARTM i biblioteka s otkrytym kodom BigARTM. 2023. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/d/d5/Voron17survey-artm.pdf> (data obrashcheniya: 30.10.2024).
- [21] Ming Li, Run-Ran Liu, Linyuan Lu, Mao-Bin Hu, Shuqi Xu, Yi-Cheng Zhang. Percolation on complex networks: Theory and application. Physics Reports. 907: 1–68. DOI: 10.1016/j.physrep.2020.12.003.
- [22] Popov, O. R. Issledovanie rasprostraneniya informacii v setyah, strukturirovannyh iz nabora prognosticheskikh terminov. / O.R. Popov, S.O. Kramarov // Vestnik kibernetiki. – 2022. – № 1(45). – S. 38-45. – DOI 10.34822/1999-7604-2022-1-38-45.
- [23] Dinamika formirovaniya svyazej v setyah, strukturirovannyh na osnove prognosticheskikh terminov / S. O. Kramarov, O. R. Popov, I. E. Dzhariyev, E. A. Petrov // Russian Technological Journal. – 2023. – T. 11, № 3. – S. 17-29. – DOI 10.32362/2500-316X-2023-11-3-17-29.

- [24] Perkolyaciya i formirovanie svyaznosti v dinamike setej citirovaniya dannyh po fizike vysokih energij / S. O. Kramarov, O. R. Popov, I. E. Dzhariev, E. A. Petrov // Russian Technological Journal, prinyato k publikacii.
- [25] Popov O. R., Grosu A., Kramarov S. O. Kompleksnyj setevoj algoritm formirovaniya glossariya kontekstno-blizkih prognosticheskikh terminov // Sovremennyye informacionnye tekhnologii i IT-obrazovanie. [S.l.], v. 19, n. 3, p. 684-695, oct. 2023. ISSN 2411-1473.doi: <https://doi.org/10.25559/SITITO.019.202304.684-695> (data obrashcheniya: 30.10.2024).
- [26] Zhukov D. O., Hvatova T. Yu., Zal'cman A. D. Modelirovanie stohasticheskoy dinamiki izmeneniya sostoyanij uzlov i perkolyacionnyh perekhodov v social'nyh setyah s uchedom samoorganizacii i nalichiya pamyati // Informatika i ee primeneniya. — 2021. — T. 15. — № 1. — S. 102—110. — <https://doi.org/10.14357/19922264210114>.
- [27] Popov, O. R. Adaptaciya mirovyh praktik k probleme dolgosrochnogo tekhnologicheskogo prognozirovaniya sostoyaniya samoorganizuyushchihya intellektual'nyh sistem / O.R. Popov // Intellektual'nye resursy - regional'nomu razvitiyu. – 2021. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46659136> (data obrashcheniya: 30.10.2024).