УДК 004.631.17

ТЕОРЕТИКО-ГРАФОВЫЕ ОСНОВЫ ЦИФРОВЫХ РЕШЕНИЙ

Бубнова Е. Ю., студентка 3 курса факультета информационных систем и технологий
Научный руководитель - Захарова О.И., к.т.н, доцент
ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

Ключевые слова: *теория графов, цифровые технологии, графовые алгоритмы, масштабируемость, сетевой анализ.*

В статье систематизируются теоретико-графовые основы современных цифровых решений. Анализируются ключевые тенденции, вызовы и перспективы развития теории графов в условиях цифровой трансформации. Особое внимание уделяется проблемам масштабируемости, этики алгоритмов и кадрового обеспечения.

Теория графов становится фундаментальным аппаратом для моделирования сложных сетевых структур в условиях экспоненциального роста взаимосвязанных данных цифровой экономики. Она переходит в разряд критически важных компетенций для ИТ-специалистов, а актуальность темы определяется как технической востребованностью, так и новыми образовательными трендами.

Цель работы — систематизировать теоретико-графовые основы цифровых технологий и проанализировать современные тенденции, вызовы и перспективы развития направления. Объект — теория графов, предмет — её эволюция в цифровом контексте. Методология включает системный анализ литературы, синтез подходов и экспертную оценку.

Граф формализует отношения между объектами. В приложениях востребованы ориентированные/неориентированные графы, взвешенные, динамические и гиперграфы. Ключевые метрики (степень, центральность, кластеризация, диаметр) позволяют количественно оценивать структуру сетей. Алгоритмическая база включает обход, поиск путей, выделение сообществ, задачи потоков и паросочетаний для оптимизации ресурсов.

Эффективность обработки зависит от способа хранения: матрица смежности — для плотных графов, списки — для разреженных, сжатые форматы (CSR, CSC) повышают производительность, а перспективные методы векторного представления рёбер позволяют существенно уменьшить информационный объем графа [1, 70], в то время как специализированные форматы (GraphML, GML) обеспечивают совместимость и поддержку метаданных.

Развитие методов хранения и обработки графовых данных в российских исследованиях после 2020 года демонстрирует движение в сторону узкоспециализированных архитектур и гибридных подходов. Так, в диссертационной работе И. В. Афанасьева (МГУ имени М. В. Ломоносова) предложены методы эффективной реализации графовых алгоритмов для современных векторных архитектур с быстрой памятью [2, 10]. Разработанный автором фреймворк VGL (Vector Graph Library) позволяет значительно упростить процесс создания высокопроизводительных реализаций для таких систем, как NEC SX-Aurora TSUBASA, скрывая от разработчика сложность программирования под векторные архитектуры и обеспечивая производительность на уровне тщательно оптимизированных вручную версий. Данный подход подтверждает, что эффективность обработки графов критически зависит не только от выбора формата хранения, но и от его соответствия архитектурным особенностям целевой вычислительной системы.

Параллельно развиваются методы организации самих структур данных. В патенте, посвященном формированию структуры хранения на основе многослойного графа, предложено решение проблемы интеграции разнородных источников информации. Технический результат достигается за счет построения многослойного графа, где каждый слой соответствует отдельному источнику, а вершины, относящиеся к одной сущности реального мира из разных слоев, объединяются в «суперузлы». Это повышает эффективность хранения данных и скорость поиска за счет устранения неоднозначности при мэтчинге сущностей.

Вопросы компактного представления больших графов также получили развитие в работе И. В. Полякова с соавторами, где предложены алгоритмы предобработки, позволяющие значительно

увеличить плотность данных на диске и повысить производительность базовых операций для графов определенного типа [3, 126]. Дополнительно, исследователи Донского государственного технического университета рассмотрели проблему представления графов для хранения в реляционных базах данных, предложив использовать реляционное представление списка ребер, соответствующее третьей нормальной форме, что позволяет нивелировать недостатки классических методов (матриц смежности и списков) при работе с СУБД. Эти разработки в совокупности формируют российский вектор развития технологий хранения графов, ориентированный на учет архитектуры вычислителя, семантическую интеграцию данных и совместимость с существующей инфраструктурой баз данных.

Анализ современных вызовов показывает, что масштабирование в условиях Big Data требует распределённых фреймворков (Apache GraphX, DGL, PyTorch Geometric) и аппаратного ускорения. Переход к динамическим моделям обусловлен потребностями мониторинга киберугроз и анализа социальных медиа. Этические аспекты приобретают особую остроту: приватность данных, алгоритмическая предвзятость, интерпретируемость графовых нейросетей (GNN) формируют необходимость разработки стандартов. Междисциплинарная интеграция расширяет горизонты применения — гибридные архитектуры «графы + NLP» для семантического поиска, синтез с компьютерным зрением, применение в биоинформатике открывают новые научные направления. Анализ рынка труда подтверждает растущий спрос на специалистов, сочетающих глубокие знания теории графов и предметную экспертизу; дефицит кадров подчеркивает необходимость модернизации образовательных программ.

Теоретико-графовые основы необходимы для проектирования надёжных, эффективных и интерпретируемых цифровых систем. Инвестиции в образование и кадровое развитие являются критическим фактором конкурентоспособности в глобальном цифровом пространстве. Перспективы исследований включают стандартизацию методов, развитие теории динамических графов, создание этических

фреймворков и укрепление связей между академической наукой, индустрией и образованием.

Библиографический список:

1. Лещев Артем Олегович, Лясковский Максим Альбертович, Мельников Константин Игоревич Оценка применимости векторного представления рёбер графа с целью уменьшения информационного объема графа // Наука без границ. 2020. №6 (46). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-primenimosti-vektornogo-predstavleniya-ryober-grafa-s-tselyu-umensheniya-informatsionnogo-obema-grafa (дата обращения: 18.02.2026).

2. Афанасьев И.В. Исследование и разработка методов эффективной реализации графовых алгоритмов для современных векторных архитектур: дис. канд. ф.-м. н. наук: 05.13.11. - Москва, 2020. - 24 с.

3. Поляков И. В., Чеповский А. А., Чеповский А. М. Сжатие данных в хранилище больших графов // Фундаментальная и прикладная математика. – 2016. – Т. 21, № 4. – С. 125–132

GRAPH-THEORETICAL FOUNDATIONS OF DIGITAL SOLUTIONS

Bubnova E.Y.
Scientific supervisor - Zakharova O.I.
Volga Region State University of Telecommunications and Informatics

Keywords: *graph theory, digital technologies, graph algorithms, scalability, network analysis.*

The article systematizes graph-theoretical foundations of modern digital solutions. The key trends, challenges and prospects for the development of graph theory in the context of digital transformation are analyzed. Special attention is paid to the issues of scalability, ethics of algorithms and staffing.