

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и инновационной деятельности
Национального исследовательского Томского
государственного университета, доктор физико-
математических наук, профессор



Ворожцов Александр Борисович

« 24 » января 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Солдатенко Александра Александровича «Разработка алгоритмов комбинаторной оптимизации для анализа графовых и гиперграфовых сетей» по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

Актуальность исследования и степень разработанности темы

В настоящее время актуальны задачи, связанные с необходимостью анализа и проектирования телекоммуникационных, семантических и дорожных сетей. Расширение сети Интернет, развитие инфраструктуры городов и наращивание объема текстовых данных влечет за собой увеличение размера исследуемых сетей и усложнение их структуры. Данные сети могут описываться графами и гиперграфами, что позволяет формулировать задачи анализа и проектирования в терминах комбинаторной оптимизации. Задача анализа сетей может включать решение задач о кратчайшем пути, задачи о покрытии, задачи перечислений конфигураций. В частности, в навигационных и телекоммуникационных сетях активно используются алгоритмы поиска кратчайшего пути с различными ограничениями. На практике наиболее часто применяются три основные группы модификаций алгоритма Дейкстры: иерархические алгоритмы, алгоритмы маркировки и алгоритмы маршрутизации по ориентирам. Ко всем этим группам применяются общие подходы к предобработке исходной сети такие как Reach, Short-Cut, методы атомизации и анализа структуры сети. В настоящее время активно ведутся исследования по способам ускорения алгоритма Дейкстры и его модификаций для специфичных нестационарных, ресурсоограниченных сетей и сетей большого размера.

Предобработка сети требует детального анализа ее структуры, выделения подсетей определенного вида и расчета характеристик сетей. При решении подобных задач используется как детерминированный, так и вероятностный подходы. В детерминированном подходе преобладают методы, основанные на теории графов и гиперграфов. В практических приложениях в анализе сетей возрос интерес к решению как минимум NP-трудных задач на графах или гиперграфах, таких как: задача о покрытии, задача доминирования, задача перечисления всех максимальных клик, поиск независимых множеств и определение других характеристик графа или гиперграфа. При этом графы и гиперграфы, как одни из фундаментальных комбинаторных структур, допускают представление в виде $(0, 1)$ -матрицы. В связи с этим, в настоящее время в качестве методов предобработки сетей активно используют и разрабатывают новые подходы и алгоритмы теории графов и гиперграфов, теории матроидов, теории $(0, 1)$ -матриц и анализа формальных понятий.

Таким образом, возникает потребность в модернизации классических алгоритмов и разработке новых для решения задач анализа графовых и гиперграфовых сетей, что подтверждает актуальность работы.

Характеристика диссертационного исследования

Диссертационное исследование Солдатенко Александра Александровича ставит своей целью разработку новых алгоритмов комбинаторной оптимизации для анализа сетей. По результату в диссертации разработаны, обоснованы, реализованы и протестированы новые алгоритмы для решения следующих задач: задачи о кратчайшем пути в нестационарной метрической сети с условием FIFO и ресурсоограниченной сети с одним ресурсом, задача поиска всех максимально полных подматриц $(0, 1)$ -матрицы, задача перечисления всех максимальных индуцированных биклик. Алгоритмы для решения задач о кратчайшем пути с ограничениями являются расширениями известного алгоритма Дейкстры. В первой главе для задачи о кратчайшем пути в нестационарной метрической сети с условием FIFO предлагается новая графовая модель, на основе которой определены потенциальные функции необходимые для работы нового модифицированного алгоритма ALT. Во второй главе алгоритм RevTree для задачи о кратчайшем пути в ресурсоограниченном пути с одним ресурсом использует подход, который позволяет оценить точность конечного решения, основываясь на весах дуг графа. В третьей главе алгоритмы для двух перечислительных

задач основаны на новом гиперграфовом подходе, который использует гиперграфовое представление для получения следующих конфигураций: максимально полных подматриц матрицы инцидентности гиперграфа и максимальных индуцированных билик гиперграфа. В четвертой главе все разработанные алгоритмы реализованы в виде комплекса программ, который используется для анализа дорожных сетей четырех городов. Все научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, подтверждаются математическими выкладками и доказательствами теорем. Полученные теоретические оценки алгоритмов согласуются с другими известными алгоритмами и со сложностью решаемых задач. Теоретические результаты подтверждаются результатами вычислительных экспериментов.

Научная новизна

В диссертации представлены новые научные результаты в области разработки и применения алгоритмов комбинаторной оптимизации для анализа графовых и гиперграфовых сетей. Отличие от ранее известных результатов заключается в следующем:

- разработана и теоретически обоснована модификация алгоритма ALT для задачи поиска кратчайшего пути в нестационарной метрической сети, удовлетворяющей условию FIFO, использующая графовую модель с двумя весами и адаптивную эвристику для расстановки ориентиров;
- разработан и теоретически обоснован новый алгоритм RevTree приближенного решения задачи поиска ресурсоограниченного кратчайшего пути в сети с одним ресурсом, позволяющий оценить точность решения, основываясь на параметрах исходной сети;
- разработан и теоретически обоснован новый алгоритм HFindMIB, основанный на гиперграфовом подходе, для решения задачи поиска и перечисления в лексикографическом порядке всех максимальных индуцированных билик в графовых и гиперграфовых сетях.

Теоретическая и практическая значимость

Новое графовое представление и использование модифицированного алгоритма ALT в задаче о кратчайшем пути в нестационарной сети может благотворно сказаться на моделировании транспортных сетей, поскольку представление весовой функции как отношение расстояния и скорости позволит задавать веса в реальном времени. Метод оценки решения в алгоритме RevTree для решения задачи о кратчайшем пути

в ресурсоограниченной сети имеет перспективы быть развитым для смежных задач о кратчайшем пути и на случай многих ресурсов. К гиперграфовому подходу, используемому в алгоритмах HFindMCS и HFindMIB, могут быть применены методы параллельного программирования. Сам подход можно эффективно использовать в различных задачах, требующих получение экспоненциального множества схожих комбинаторных конфигураций, таких как возможные раскраски графов и гиперграфов, поиск всех эйлеровых контуров, поиск всевозможных вариантов покрытия графа и гиперграфа. С практической стороны разработанные алгоритмы могут применяться в геоинформационных системах, навигационных системах и в качестве дальнейшего развития протоколов связи.

Степень обоснованности и достоверности полученных результатов

Достоверность основных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректным использованием конструкций, постановок задач, результатов и методологии комбинаторной оптимизации, теории графов и гиперграфов, теории сложности алгоритмов, объектно-ориентированного программирования. Достоверность результатов также подтверждается строгими математическими доказательствами основных положений, экспериментальной проверкой результатов на случайных и реальных данных.

Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати

Основные результаты диссертационной работы достаточно полно отражены в известных российских и международных печатных изданиях. По материалам диссертации опубликовано 22 работы, в том числе 5 статей в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (в том числе 4 статьи в российских научных журналах, индексируемых Web of Science и Scopus), 14 публикаций в других изданиях и сборниках материалов международных и всероссийских научных и научно-практических конференций наук (в том числе 3 статьи в изданиях, индексируемых Web of Science и Scopus), получено 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Все эти показатели свидетельствуют о том, что работа хорошо воспринята научной общественностью.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат логически выстроен, хорошо структурирован, правильно и в достаточной мере отражает содержание диссертационной работы. Как часть выполненной научной работы автореферат отражает компетентность автора в области проводимых исследований и хорошее владение используемыми математическими методами.

Замечания по диссертационной работе

По содержанию работы можно высказать следующие замечания:

1. В работе отсутствует проверка аксиом метрики для введенной автором меры расстояния между вершинами графа.
2. В параграфе 3.1 автором вводится определение максимально полной подматрицы. Определение носит рекурсивный характер, что затрудняет его восприятие.
3. В параграфах 3.3–3.4 сформулированы и доказаны теоремы о сложности алгоритмов HFindMCS и HFindMIB. Результатом каждой теоремы является асимптотическая оценка временной сложности соответствующего алгоритма. Во-первых, полученные оценки могут быть дополнительно упрощены согласно математическим правилам. Во-вторых, асимптотические оценки неудобны для практического применения, поскольку требуют дополнительного асимптотического анализа при сравнении с существующими алгоритмами. Пример такого сравнения присутствует в выводах по главе 3 для алгоритмов HFindMCS и Close-by-One, однако без математических выкладок.
4. Алгоритм HFindMCS тестировался только на квадратных матрицах, согласно теоретической рекомендации. Не представлены эксперименты на гиперграфах с матрицей инцидентности иного вида. Алгоритм HFindMIB протестирован на случайно сгенерированных гиперграфах с малой степенью и навигационных сетях, где степень вершин тоже является небольшой. Отсутствуют вычислительные эксперименты и рекомендации по верхней границе степени гиперграфа, до которой алгоритм HFindMIB будет эффективен.
5. Термин «дорожные сети», используемый в диссертации, является некорректным применительно к предметной области. Следует использовать термин «навигационные сети».

6. В диссертации используется термин «результативность алгоритмов», но нет объяснения, что подразумевается под этим термином: эффективность алгоритмов, сравнение работы алгоритмов в среднем по времени или ресурсным характеристикам.

7. В диссертационной работе отсутствует список сокращений и список обозначений, которые упростили бы прочтение работы. В выводах по главам следовало бы сделать ссылки на опубликованные работы автора, в заключении диссертации необходимо сделать выводы по всей диссертационной работе в целом, то есть отразить то, что отличает работу от ранее выполненных исследований по теме диссертации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Общее заключение по диссертации

Диссертационная работа Солдатенко Александра Александровича «Разработка алгоритмов комбинаторной оптимизации для анализа графовых и гиперграфовых сетей» имеет внутреннее единство, обладает новизной, является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение (через разработку новых алгоритмов комбинаторной оптимизации) научной задачи анализа сетей, представленных графами или гиперграфами, имеющей значение для развития информационных технологий интеллектуального анализа и проектирования сетей различных предметных областей.

Таким образом, считаем, что диссертация соответствует требованиям, предъявляемым в отношении кандидатских диссертаций пп. 9–11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Солдатенко Александр Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики.

Отзыв составила профессор кафедры теории вероятностей и математической статистики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», доктор физико-математических наук (05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), профессор Моисеева Светлана Петровна.

Отзыв на диссертацию А. А. Солдатенко обсужден и одобрен на расширенном заседании кафедры теории вероятностей и математической статистики Института прикладной математики и компьютерных наук Национального исследовательского Томского государственного университета, 13.01.2022, протокол № 2.

Профессор кафедры теории вероятностей и математической статистики Национального исследовательского Томского государственного университета, доктор физико-математических наук (05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), профессор



Моисеева Светлана Петровна

Заведующий кафедрой прикладной информатики Национального исследовательского Томского государственного университета, доктор технических наук (05.13.01 – Управление в технических системах), профессор



Сущенко Сергей Петрович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Адрес: 634050, Российская Федерация, г. Томск, пр. Ленина, 36.

Тел.: (3822) 52-98-52. E-mail: rector@tsu.ru. Страница в интернете: <http://www.tsu.ru>