

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию

Владимира Александровича Скороходова

«Графы с нестандартной достижимостью: маршрутизация, случайные процессы и потоковые задачи»,

представленную на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук

по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики

Актуальность темы исследования

Теория графов – основа множества направлений теоретической информатики. Достижимость в графе является естественным обобщением транзитивного замыкания отношения. Помимо фундаментальной значимости, она имеет множество самых разных приложений: от поиска кратчайших путей до проверки выводимости формул. В связи с этим безусловна актуальность представленного диссертационного исследования – задачи развития теории достижимости и поиска новых алгоритмов анализа расширенных графов имеют важнейшее теоретическое и прикладное значение.

Классическая достижимость предполагает, что допустимыми являются все возможные пути. Однако практически любое усложнение графовой модели (например, добавление типов дуг) приводит к возникновению нового, более сложного понятия достижимости, и, соответственно, к необходимости поиска новых алгоритмов анализа. В работах Е.О. Басанговой и Я.М. Ерусалимского был обнаружен интересный класс сложных ориентированных графов, проблема достижимости в которых может быть решена при помощи построения “развёртки” исходного графа. Задача проверки достижимости в исходном графе (сложном) сводится к классической задаче проверки достижимости в обыкновенном графе-развёртке, и, следовательно, может быть эффективно решена. В результате исследований Я.М. Ерусалимского и его учеников было найдено достаточно много конкретных примеров классов графов, допускающих подобный анализ, а также предложен целый ряд вариантов применения нового инструментария для решения различных прикладных задач.

Диссертация В. А. Скороходова представляет собой существенное развитие данной теории. Можно сказать, что на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как новое крупное научное достижение. Помимо существенно новых результатов, в работе представлено несколько важных обобщений известных понятий (определённых ранее в работах Я. М. Ерусалимского и др.), позволяющих

формализовать само понятие “нестандартной” достижимости (замечу, что, на мой взгляд, термин не очень удачен – это скорее именно “обобщённая достижимость”).

Оценка структуры и содержания работы

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. Общий объём диссертации составляет 255 страниц.

Во *введении* обоснована актуальность темы исследования, указаны цель и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

В первой главе диссертации рассмотрено несколько существенно различных типов ограничений на достижимость, сформулировано общее определение понятия графа с нестандартной достижимостью, введено понятие допустимого пути на таких графах. Показано, что в общем случае для множества допустимых путей на графе с нестандартной достижимостью не выполнены свойства транзитивности и экстремальности пути, на которых основано большинство известных классических алгоритмов поиска кратчайшего пути. Для решения задач о достижимости и о кратчайшем пути на графах с нестандартной достижимостью обобщён метод развёрток Е.О. Басанговой и Я.М. Ерусалимского.

Достоинства первой главы:

1. Представлены к защите методы анализа нестандартной достижимости для новых классов графов, в частности: с накоплением-исчезанием магнитности, с возрастанием-убыванием магнитности, с условием механической достижимости и др.
2. Предложено обобщение для всех известных ранее классов графов с “нестандартной” достижимостью (Раздел 1.7). Введены понятия характеристического и путевого набора, формализующие саму возможность применения метода развёрток.
3. Сформулирована и доказана ключевая Теорема 1.14 о достижимости в общем случае. Можно надеяться, что она позволит в будущем ещё более расширить множество анализируемых типов нестандартной достижимости.
4. Приведён ряд наглядных примеров приложений новой теории.

Недостатки первой главы:

1. С.47: Примечание о том, что «наличие перечисленных особенностей позволяет утверждать, что задача о кратчайшем пути на графе с магнитной достижимостью без построения вспомогательного графа может быть решена только полным перебором путей графа» является излишне категоричным (хотя и правдоподобным). На мой взгляд, корректнее было бы использовать формулировку «позволяет предполагать».
2. В определении 1.27 не указано, что элементы путевого набора не должны попарно пересекаться (как следует из контекста).
3. С.68: Случаю путей с периодической характеристикой уделена всего одна страница. На мой взгляд, эта тема заслуживает большего внимания.

4. Имеются опечатки в некоторых примерах. В примере 1.1 должно быть $\eta = \{u_2, u_8, u_3, u_7\}$; в примере 1.9 должно быть $\mu_1 = \{u_1, u_2, u_4, u_7\}$, $\mu_2 = \{u_1, u_2, u_4, u_6\}$; в примере 1.10 упоминаются отсутствующие дуги u_7 , u_8 , u_9 .

Во второй главе проведено исследование процессов случайного блуждания по вершинам графа с нестандартной достижимостью (часть результатов относится к кандидатской диссертации В. А. Скороходова). Показано, что в общем случае такие процессы не являются марковскими, однако, сводятся к марковским процессам на вспомогательном графе (развёртке). Разработан метод нахождения вероятностей перехода из вершины в вершину за конечное число шагов на графе с нестандартной достижимостью.

Достоинства второй главы:

1. Результаты исследования процессов случайного блуждания для некоторых важных классов графов. Здесь основным конструктивным фактом является переход к марковским цепям, который делает возможным анализ всеми средствами теории марковских цепей такого достаточно необычного объекта, как графы с нестандартной достижимостью.
2. Интересная модель туннельной проводимости. По сути дела здесь мы видим изящный вариант “физической” интерпретации математического понятия “развертки” графа с магнитной достижимостью.

Недостатки второй главы:

1. С.81: Не очень понятна формулировка «Такие машины являются последовательными, так как переходы осуществляются в дискретные моменты времени, а не непрерывно». Предполагаю, что имелось в виду либо «... являются непрерывными...», либо «... в различные моменты времени, а не одновременно». Верно и то, и другое.
2. Пример 2.2: Должно быть $g(u_1) = -1$.

Третья глава посвящена изучению циклов специального вида и их связи с существованием стационарного распределения для случайных процессов на графах с нестандартной достижимостью. Рассмотрены понятия устойчивых и неустойчивых циклов графа и в терминах графовой структуры сформулирован и доказан критерий о существовании стационарного распределения для цепи Маркова.

Достоинства третьей главы

1. Представлен важный критерий несжимающей сети Маркова, основанный на структуре её контуров. Сам по себе этот результат не относится напрямую к теме нестандартной достижимости, однако, как показано далее в данной Главе, для рассматриваемых классов графов (например, с условиями магнитной или вентильной достижимости) именно его использование позволяет характеризовать устойчивость режимов.

2. Представлены интересные приложения графов с механической достижимостью – вероятностный поиск локального минимума функции и анализ траекторий движения физических объектов (под действием неких “магнитных” полей).

Недостатки третьей главы:

1. Утверждение Теоремы 3.4 выглядит достаточно очевидным. Стилистически более корректно было бы оформить его в виде леммы.
2. Пример 3.5: На рисунке нет упомянутого ниже выделения четырёх дуг. Возможно, изначально предполагался цветной рисунок.

В четвёртой главе проведено исследование потоковой задачи в сети с нестандартной достижимостью. В качестве средства моделирования потока в таких сетях введены и изучены новые объекты — обобщённые сети со связанными дугами. Разработан метод нахождения максимального потока в таких сетях и показана сводимость задачи о максимальном потоке в сети с нестандартной достижимостью к аналогичной задаче в обобщённой сети со связанными дугами.

Достоинства четвертой главы

1. Большая прикладная значимость представленных результатов. Очевидны такие области применения, как логистика и маршрутизация. В частности, новые методы и подходы могут быть использованы при разработке алгоритмов перераспределении потоков в неоднородных коммуникационных сетях современных классов (ячеистых, сенсорных, подвижных и т.п.).
2. Рассмотрены и решены интересные модификации базовой задачи: задача о максимизации прибыли при фиксированном потоке и задача о максимизации потока при условии его пропорционального распределения между исходящими дугами (как жёсткого, так и нежёсткого).
3. Множество иллюстративных примеров.

Недостатки четвертой главы:

1. Из неформального описания связанности дуг (перед Теоремой 4.3) не очень понятно, что будет с пропускной способностью дуги, связанной с ДВУМЯ дугами, уже пропускающими ненулевой поток. Возможно, следовало бы добавить более подробное описание.
2. В подразделе 4.4.2 «Верхняя оценка величины максимального потока» речь заходит о частном случае – сетях, в которых любые две связанные дуги имеют одинаковую пропускную способность. Следовало бы отразить это в заголовках подразделов.
3. Заголовок подраздела 4.4.4 – «Алгоритм нахождения максимального потока». В первом же абзаце уточнение – «Этот алгоритм не является точным, т.е. не во всех случаях найденный поток является максимальным». Таким образом, этот алгоритм не является фактически алгоритмом “нахождения”.

4. Под Определение 4.15 подходит граф, полученный из G_1 удалением ВСЕХ дуг. Видимо, автор забыл упомянуть о том, что рассматривается только наибольший по вложению случай.
5. С.161, вторая строка: Следовало бы явно указать, что обе величины – ненулевые (иначе неверным становится утверждение 2 на странице 163).
6. С.166: На мой взгляд, ссылка [54] здесь избыточна.
7. Начиная с Леммы 4.5 речь идёт о новом механизме – перераспределении долей потока – следовало бы начать новый подраздел.

В пятой главе изучены графы с зависимостью весов дуг от времени, а также графы с динамической нестандартной достижимостью. Показано, что такие графы являются аналогами графов с нестандартной достижимостью, и, следовательно, разработанные для графов с нестандартной достижимостью методы могут применяться для решения аналогичных задач и на графах с зависимостью весов дуг от времени и на графах с динамической нестандартной достижимостью.

Достоинства пятой главы

1. Рассматриваемые задачи достаточно своеобразны, их сводимость к нестандартной достижимости весьма неожиданна (на мой взгляд). Полученные результаты имеют несомненную прикладную ценность (например, при верификации темпоральных свойств систем переходов).

Недостатки пятой главы:

1. В заголовке раздела 5.4 не отражено, что рассматриваются только периодические зависимости длительности прохождения по дуге от времени (а не произвольные).
2. С.220, последняя строка: Упоминание случая произвольной зависимости длительности прохождения от времени вносит путаницу, поскольку данный раздел посвящён, опять-таки, исключительно графам с периодической зависимостью.

Шестая глава посвящена изучению вопроса о постановке и решении краевых задач на графах с нестандартной достижимостью. Рассмотрен дискретный аналог оператора Лапласа для функции, заданной в вершинах графа с нестандартной достижимостью, введено понятие границы и внутренности такого графа. Разработан и обоснован метод, позволяющий ставить и решать краевые задачи на графах с нестандартной достижимостью.

Достоинства шестой главы:

1. Новые понятия связности и границы для графов с нестандартной достижимостью. Важно отметить, что рассматриваются именно обобщённые графы с нестандартной достижимостью, а не какие-то конкретные её типы.
2. Доказано существование и единственность решения задачи Дирихле для графа с нестандартной достижимостью.

Недостатки шестой главы:

1. С.227, строка 6: Внешнюю ссылку на публикацию автора [26] стилистически корректно было бы заменить внутренней ссылкой на соответствующий раздел текста диссертации.

В *заключении* представлены основные результаты и выводы диссертации.

Список используемой литературы содержит 139 наименований.

Структура диссертации позволяет составить целостную картину о проведённой научно-исследовательской работе.

Замечания по диссертационной работе

Приведённые выше (в разделе оценки содержания работы) замечания не снижают теоретической и прикладной значимости работы и не ставят под сомнение её положительную оценку.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Научные положения и теоретические выводы получены корректным применением математического аппарата теории графов, теории вероятностей, теории случайных процессов, алгебры и теории чисел. По теме диссертации опубликовано достаточное количество трудов, что подтверждает новизну и необходимый уровень апробации работы.

Основные результаты опубликованы в 41 печатных работах, из которых 14 – в изданиях из перечня ВАК, рекомендованных для опубликования результатов диссертационных исследований, 8 работ индексируются в БД Zentralblatt и Scopus. Результаты диссертации были доложены на Международных и Всероссийских конференциях и семинарах.

Считаю, что результаты работы весьма интересны в плане практического применения в самых разных отраслях информатики, и поэтому заслуживают даже ещё более широкого представления в разнообразных периодических изданиях.

Заключение

Тема диссертации соответствует п. 10 «Разработка основ математической теории языков и грамматик, теории конечных автоматов и теории графов» паспорта специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики. Текст работы изложен достаточно ясно, представленные в диссертации результаты являются новыми и достоверными, основные утверждения и теоремы чётко сформулированы и доказаны. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Таким образом, представленная диссертационная работа является завершённым математическим исследованием, выполненным на высоком научном уровне. В ней изложено решение новой и актуальной научной проблемы, имеющих как теоретическое, так и практическое значение. По совокупности результатов, теоретических положений представленную диссертацию можно квалифицировать как научное достижение в области теоретических основ информатики. Считаю, что

диссертационная работа В.А. Скороходова «Графы с нестандартной достижимостью: маршрутизация, случайные процессы и потоковые задачи» отвечает всем требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней, а её автор заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики.

доцент кафедры теоретической
информатики Ярославского
государственного университета
им. П.Г. Демидова
доктор физико-математических
наук, доцент

В.А. Башкин

29.11.2017

Сведения об оппоненте:

Башкин Владимир Анатольевич

доктор физико-математических наук, доцент

Сл. адрес: 150003, Россия, г. Ярославль, ул. Советская, д. 14

e-mail: v_bashkin@mail.ru

тел.: +7 (910) 971-83-42

научная специальность: 05.13.17 — теоретические основы информатики

