

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по науке и
инновациям Мишунин В.В.



В.В. Мишунин 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

**федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Белгородский государственный
национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»)**

на диссертационную работу Германчук Марии Сергеевны
«Знаниеориентированные модели многоагентной маршрутизации»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 05.13.18 – математическое
моделирование, численные методы и комплексы программ.

Актуальность темы диссертации

Тенденции современного развития математических моделей, методов, алгоритмов прикладных задач маршрутизации связаны с многоагентным подходом, базирующимся на моделях многих агентов-коммивояжеров (multiple Traveling Salesman Problem – mTSP). Исследования mTSP не только не теряют своей актуальности, но и востребованы в различных приложениях. Развиваются различные направления за счет обобщений, новых постановок,

учитывающих специфику данных, знаний и современных достижений в этой области науки.

Возникающие задачи, как классические TSP, так и mTSP, являются NP-полными и не могут быть решены точными методами (метод ветвей и границ, динамического программирования) за приемлемое время. Кроме большой размерности, реальным задачам отвечают сложные сети, с различными структурами графов; развивающиеся и изменяющиеся сети. Для снижения вычислительной сложности наряду с учетом знаний (о модели, задаче, структуре сети), позволяющих упростить задачу (снять некоторые ограничения, поставить в соответствие более простую модель), эффективным является использование приближенных эвристических алгоритмов. Разработка прикладных моделей, задач и алгоритмов многоагентной маршрутизации типа mTSP на сложных сетях с учетом знаний о составляющих задачи, прецедентах и специфике является актуальным направлением исследований.

В диссертационной работе М. С. Германчук сформулированы дискретные модели условной оптимизации для TSP и обобщенных mTSP, в том числе и полиномиально разрешимые. Для чего используются знания об исходной прикладной задаче, ее модели в виде задачи дискретной оптимизации с условиями в виде псевдобулевой продукции (ДНФ ограничения). Концепция снижения размерности основана на схеме упрощения исходной mTSP, ее декомпозиции (согласованной с кластеризацией сети) в зависимости от структуры сети, специфике и ограничениях на прохождение маршрутов и имеющихся прецедентах. Это потребовало выбора и использования набора точных и приближенных алгоритмов, метаэвристик, их сравнительного анализа с целью разработки программных комплексов для реальных прикладных задач маршрутизации.

Таким образом, тема диссертационной работы М. С. Германчук, посвященной вопросам разработки знаниеориентированных моделей многоагентной маршрутизации типа обобщенных задач многих коммивояжеров (mTSP) в сложных сетях с учетом фактов, данных, знаний и прецедентов о

структуре сети и специфике прохождения маршрутов, соответствующих алгоритмов и комплексов программ для важных прикладных задач актуальна.

Научная новизна исследования и полученных результатов

В работе автором лично получен ряд новых результатов, позволяющих классифицировать ее как законченное научное исследование по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»:

– в области математического моделирования:

1) рассмотрен ряд постановок моделей задач, обобщающих TSP, mTSP с учетом прикладного характера математических моделей, знаний о модели и сложной структуре сети, возможности реоптимизации и алгоритмов их решения, пригодных для синтеза комбинированных алгоритмов в схемах, направленных на упрощение задачи (декомпозицию);

2) предложена базовая модель псевдобулевой оптимизации с ограничениями в виде дизъюнктивной нормальной формы (ДНФ) полиномиальной сложности, к которой сведена обобщенная модель mTSP, пригодная для теоретического обоснования алгоритмов решения однокритериальных и многокритериальных задач маршрутизации;

– в области численных методов:

3) сформированы новые алгоритмы и их композиции, лежащие в основе снижения размерности исходной mTSP с помощью упрощения модели, ее декомпозиции на базе согласованной с mTSP кластеризации сложной сети. Проведены программная реализация, сравнительный анализ и тестирование применяемых композиций алгоритмов (эволюционных, генетических, роевых и др. метаэвристик);

– в области разработки комплексов программ:

4) разработаны комплексы программ для проведения квазиреальных численных экспериментов по исследованию работоспособности разработанных алгоритмов в зависимости от схем упрощения исходной задачи и различных значениях параметров;

5) разработанные вычислительные подходы и алгоритмы реализованы в виде комплекса программ и получены свидетельства о регистрации программ для ЭВМ «Программа многоагентной инфраструктурной маршрутизации» № 2022614174 от 17.03.2022 г., «Программа выбора наилучших туристических маршрутов по Крыму» № 2021681822 от 27.12.2021 г. и акт о внедрении результатов диссертационного исследования.

Основные теоретические утверждения диссертационной работы доказаны с требуемой полнотой с использованием современного аппарата теории дискретной и псевдобулевой условной оптимизации, представления знаний в виде ДНФ, что позволяет использовать логический вывод на базе продукций; теории алгоритмов, численных методов, математического моделирования и программирования. Все положения, защищаемые в диссертации, проиллюстрированы достаточным количеством вычислительных экспериментов.

С методологической точки зрения используется системный подход с акцентом на интеллектуализацию обработки данных, представление знаний, концепцию снижения размерности реализуемых численно алгоритмов с применением современных компьютерных технологий. Выдержаны принципы детерминированности, комплексности и системности.

Область исследования соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (физико-математические науки):

1. Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений.

3. Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий.

4. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента.

Значимость полученных автором результатов

Теоретическая значимость работы определяется ее вкладом в развитие математических моделей, алгоритмов и методов в области разработки прикладных эффективных многоагентных маршрутов в сложных сетях. Обоснование доказательства сводимости обобщенных mTSP к полиномиальным задачам псевдодулевой оптимизации.

Практическая значимость заключается в построении математических моделей и набора алгоритмов, позволяющих использовать их в разработке комплексов программ для реальных прикладных задач с целью проведения экспериментов по выбору многоагентных маршрутов в чрезвычайных условиях (изменяющиеся сети) для различных сценариев; планировать многодневные маршруты по достопримечательностям региона; мониторить социальные сети и проводить социологические исследования по распространению деструктивной информации в русскоязычных социальных сетях и др.

Результаты диссертационного исследования внедрены в учебный процесс на кафедре политических наук и международных отношений философского факультета Таврической академии Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского в рамках курса «Математические методы в политических исследованиях».

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов

Достоверность результатов обоснована корректным выбором методики исследования, теоретическим и алгоритмическим наполнением и подтверждается результатами, полученными в ходе апробации алгоритмов по разработанным схемам и математическим моделям обобщенных mTSP.

Анализ содержания диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения. Полный объем диссертации составляет 150 страницы, включая 49 рисунков и 2 таблицы. Список литературы содержит 255 наименования.

Во введении обоснован выбор темы и ее актуальность, сформулированы цели и задачи исследования, отмечена научная новизна работы, ее теоретическая и практическая значимость, раскрыты методологическая база, мето-

ды и приемы исследования, изложены основные научные положения, защищаемые в диссертационной работе.

В первой главе приводятся базовые определения, понятия, факты и модели, связанные с многоагентной маршрутизацией (многоагентная задача типа коммивояжера). Вводится рабочее определение знаниеориентированных моделей mTSP.

Показано, что необходим набор достаточно простых и реализуемых моделей, направленных на снижение размерности исходной задачи так, чтобы было возможно использовать полиномиальные алгоритмы. Выделены различные обобщения TSP, в которых используются знания. Во многих случаях для решения задачи при ее большой размерности mTSP необходима кластеризация исходного графа на два или несколько подграфов.

Отмечается важность учета знаний о решениях, компонентах моделей, структуре сложных сетей для разработки перспективных алгоритмов маршрутизации. Приведены полиномиальные модели TSP.

Выясняется проблематика интеллектуального управления в многоагентных системах типа mTSP и специфика взаимодействия агентов в решении сетевых задач маршрутизации. На уровне системы интересы (цели, критерии) коммивояжеров-агентов общие, локальные интересы отдельного агента представлены локальными целями, работающие на общую цель (которую агенты могут и не осознавать). При этом локальные цели, критерии, ограничения и ресурсы общедоступны для всех агентов. Оптимальность многокритериального решения достигается за счет обмена информацией (знаниями) между агентами-коммивояжерами с помощью процедуры самоорганизации или некоторой другой.

Рассмотрен вопрос интеллектуального управления агентами в многоагентных системах. Перспективным является подход, в котором агенты-коммивояжеры рассматриваются как популяция в рамках модели генетического алгоритма.

Вторая глава является базовой как с теоретической точки зрения, так и для обоснования разработки алгоритмов mTSP и управления агентами-коммивояжерами. Доказана сводимость обобщенных mTSP к задаче псевдодвоичной оптимизации с ДНФ ограничениями, имеющими полиномиальную сложность. Обоснованы методы решения многокритериальных задач mTSP, представленных в канонической форме.

Прикладные алгоритмы маршрутизации с учетом информации приведены в третьей главе. Сравниваются, в частности, эвристические алгоритмы решения задачи поиска кратчайшего пути и задачи типа m коммивояжеров в случае наличия дополнительной информации. Такая информация меняет математическую постановку задачи и алгоритмы ее решения.

Обосновывается выбор алгоритмов приближенного решения. Предложен обобщенный алгоритм на приведенных сетях.

Показана необходимость использования упрощающих схем и алгоритмов улучшения, компромисса применения композиции эвристических и точных алгоритмов. Описаны алгоритмы решения задач маршрутизации с ограничениями, приведен тестовый пример. В рамках существенного использования метаэвристик для mTSP приведен их сравнительный анализ. Показаны версии алгоритмов, которые используются в программных реализациях. Осуществлен синтез алгоритмов кластеризации сети с учетом многоагентности, балансировки маршрутов. Проведена программная реализация алгоритмов синтеза кластеризации и многоагентной маршрутизации. Вычислительные эксперименты подтверждают обоснованность применения разработанных алгоритмов.

В четвертой главе даются приложения знаниеориентированных моделей к различным прикладным задачам маршрутизации. В задаче mTSP в чрезвычайных условиях представлены реальные данные инфраструктуры Большой Ялты (Яндекс.Карты). Приводится пример реализации построения сбалансированных маршрутов для разного числа агентов. Разработанный программный комплекс «Программа многоагентной инфраструктурной

маршрутизации» является решением задачи mTSP для г. Ялты с прилегающими территориями в случае нескольких агентов-коммивояжеров. Многоагентность данных позволяет планировать реализацию функционала взаимодействия в многоагентных системах для имитации режимов чрезвычайных ситуаций.

Учет специфики географической информационной системы и mTSP в программной реализации позволяет строить маршруты посещения достопримечательностей Крыма. Автором представлена разработанная «Программа выбора наилучших туристических маршрутов по Крыму», которая на основе данных о достопримечательностях, полученных из сервиса Яндекс. Справочник, а также на основе данных пользователя, составит оптимальный маршрут на несколько дней по достопримечательностям, с учетом их времени работы и желаемом времени посещения (аналог mTSP с окнами).

Рассмотренные в работе алгоритмы многоагентной маршрутизации на сложных сетях используются для анализа влияния потока интернет-мемов на пользователей интернет-сообществ. Разработан программный комплекс «Memometrix», предназначенный для мониторинга, анализа и оценки влияния на пользователей русскоязычного интернета распространяемых в социальных сетях мемов.

В заключении приведены основные результаты работы.

Рекомендации по использованию результатов

Результаты диссертационного исследования рекомендуются к использованию в логистических центрах обработки данных по выбору лучших маршрутов доставки грузов транспортными средствами с перевалочными базами и депо; для эффективной логистики городского транспорта; сетевого снабжения (почта, аптеки, лечебные учреждения); составления расписаний и планирования сценариев рекреационных маршрутов (туризм); системах обхода кластеров сообществ социальных сетей и исследования процессов распространения выделенной информации в сети, а также развития инструментов и технологий, связанных с управлением многоагентными системами типа

mTSP. Все эти направления исследований представляют большой интерес как в области теории прикладной знаниеориентированной многоагентной маршрутизации, теории задач условной дискретной оптимизации большой размерности, так и для развития отечественной науки и технологии.

Общая оценка диссертационной работы

Основные результаты работы достаточно полно отражены в 34 публикации (опубликованы в рекомендуемых ВАК РФ рецензируемых научных изданиях – [18; 22; 28; 33; 34; 36; 210], проиндексированы в Scopus – [185; 186; 211]), представлены более чем на 10 научных мероприятиях, а также подтверждаются двумя свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ и актом о внедрении результатов в учебный процесс.

По работе имеются следующие замечания:

1. Описание комплексов программ приводится в сжатом виде, в частности, программный комплекс MEMOMETRIX для исследования влияния политических мемов на пользователей Рунета.

2. Следствие 2.2 из леммы 2.1 (стр. 31) для mTSP с депо имеет смысл оформить в виде теоремы по сведению mTSP к задаче псевдобоулевой оптимизации с ДНФ ограничениями.

3. При описании эксперимента сравнительного анализа алгоритмов максимального разреза в тексте работы частично не поясняется терминология, связанная с аббревиатурой применяемых алгоритмов (таблица 3.2, рис. 3.25).

4. В общей характеристике работы (автореферат) необходимо заменить «Актуальность темы и степень ее разработанности» на «Актуальность темы», так как далее описывается «Степень разработанности темы исследования».

5. В тексте диссертационной работы присутствуют опечатки.

Изложенные выше замечания не уменьшают теоретической и практической значимости работы.

Диссертационная работа Марии Сергеевны Германчук «Знаниеориентированные модели многоагентной маршрутизации» соответствует критери-

ям актуальности, новизны и достоверности результатов и отвечает требованиям Положения (в редакции, утвержденной правительством РФ от 24.09.2013 г. № 842) «О порядке присуждения ученых степеней» к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Отзыв подготовлен профессором кафедры прикладной математики и компьютерного моделирования БелГУ, доктором физико-математических наук Сергеем Михайловичем Ситником (308015, Белгородская область, г. Белгород, ул. Победы, д. 85, тел. раб. +7 (472) 230-12-11, эл. почта: sitnik@bsu.edu.ru)

Отзыв обсужден и утвержден на заседании кафедры прикладной математики и компьютерного моделирования Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», протокол №_14 от «_29» июля 2022 г. Присутствовало 12 человек.

Результаты голосования: «за» - 12 человек, «против» - 0, воздержались» - 0.

Заведующий кафедрой прикладной математики и компьютерного моделирования
Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», д.ф.-м.н., профессор

В.Б.Васильев



Россия,
308015, г. Белгород, ул. Победы, 85,
**федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Белгородский государственный национальный
исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»)**
Тел: (4722) 30-12-11
Факс: (4722) 30-10-12, (4722) 30-12-13
www.bsuedu.ru
БелГУ.рф