

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки

**ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ
им. С.Л. Соболева
Сибирского отделения Российской
академии наук
(ИМ СО РАН)**

630090 Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 4
Для телеграмм: Новосибирск, 90, Математика
Тел.: (8-383) 333-28-92. Факс: (8-383) 333-25-98
E-mail: im@math.nsc.ru

21.08.2018 № 314-2-35

На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки Институт
математики им. С.Л. Соболева
Сибирского отделения Российской
академии наук (ИМ СО РАН),

академик РАН,
д.ф.-м.н., профессор


С.С. Гончаров

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Салия Ярослава Витальевича «Некоторые методы
решения маршрутных задач с условиями
предшествования», представленную на соискание
ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 05.13.18 – «математическое
моделирование, численные методы
и комплексы программ»

Актуальность темы диссертации

В диссертации рассматриваются задачи маршрутизации перемещений, являющиеся обобщениями широко известной задачи коммивояжера (TSP). Основное внимание уделяется задачам, в которых движение агента дополнительно ограничено условиями предшествования – так называемой задаче курьера (в работе обозначается как TSP-PC), задаче с зависимостью стоимости перемещений от времени и другим обобщениям задачи TSP. Указанные задачи имеют многочисленные приложения в логистике, оптимизации производственных процессов и энергетике. Рассматриваемые задачи относятся к числу труднорешаемых задач дискретной оптимизации, в связи с этим анализ вычислительной сложности и разработка алгоритмов решения этих задач представляют также значительный теоретический интерес.

Одним из классических подходов к задачам рассматриваемого типа является метод динамического программирования. Однако существенным недостатком точного варианта данного метода в применении к этим задачам является его затратность по памяти ЭВМ и процессорному времени.

Целью работы является разработка и анализ основанных на динамическом программировании методов и алгоритмов решения задач маршрутизации перемещений с ограничениями в виде условий предшествования и функциями стоимости перемещений, допускающими зависимость от списка невыполненных заданий, качественное исследование комбинаторной модели. Для преодоления основных проблем, связанных с использованием динамического программирования, используются методы параллельных вычислений, эвристика усеченного динамического программирования, а также качественный анализ экземпляров задач, разрешаемых динамическим программированием с малыми затратами.

Методы реализованы в виде комплекса программ, с помощью которого проведен вычислительный эксперимент на экземплярах задачи коммивояжера с условиями предшествования из принятой в литературе библиотеки тестовых экземпляров TSPLIB, а также на экземплярах аналогичной задачи с зависимостью функции стоимости перемещений от времени. Для нескольких экземпляров задач впервые получено оптимальное решение либо улучшена оценка сверху.

Содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Объем работы составляет 91 страницу. Список литературы содержит 163 наименования.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель, поставлены задачи исследования, рассмотрены вопросы научной новизны, теоретической и практической ценности проведенных исследований; перечислены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена вопросам решения TSP-PC и ее варианта с зависимостью от времени, точным методам (динамическое программирование) и эвристическим, допускающим переход к точному (усеченное динамическое программирование) на примере задач из TSPLIB, и методике качественного, априорного анализа сложности конкретных экземпляров задачи, в частности, гарантиям на пространственную и временную сложность алгоритмов, а также о вычислительному эксперименту, проведенному с использованием программного комплекса, описанного в гл. 4.

В ней фиксируются стандартные обозначения, вводятся специальные определения, описывающие авторские конструкции ДП, и позволяющие напрямую применять элементы теории частично упорядоченных множеств для качественного анализа рассматриваемой модели перемещений с условиями предшествования.

Здесь доказываются корректность ДП с абстрактным агрегированием затрат (теорема 3) и обосновываются результаты, связанные с оценками пространственной и временной сложности задач (теоремы 1,2, леммы 1,2, предложения 1-4). Описываются теоретико-порядковые характеристики экземпляров задачи TSP-PC из TSPLIB, представляются оценки объема оперативной памяти, необходимого для их решения точным ДП. Производится апробация вычислительным экспериментом средствами разработанного автором программного комплекса. Также рассматривается

эвристика усеченного ДП и решение одного варианта TSP-PC с зависимостью от времени, формализуемого в виде задачи с зависимостью от списка невыполненных заданий.

Во второй главе рассмотрены вопросы точного и эвристического вариантов ДП для наиболее сложной из рассматриваемых в диссертации моделей перемещений, которой соответствует обобщенная задача коммивояжера на узкие места с условиями предшествования и зависимостью от списка заданий. Также обсуждается один подход к параллельной реализации точного ДП на основе систем с общей памятью. В оригинальных публикациях конструкции ДП описывались на языке фундированных отношений, аналогично (Ченцов, 2008). Стремясь к стилистическому единству диссертации и легкости сравнения построений гл. 1 и 2, автор «перевел» их на теоретико-порядковый язык.

Третья глава посвящена двум задачам без условий предшествования. В первой части этой главы содержатся результаты, относящиеся к задаче о перестановке однотипных объектов, поставленной в работе (Иванко, 2013). Здесь предложена модификация алгоритма динамического программирования, избегающая построения недопустимых состояний без придания им фиктивного «бесконечного» значения, а также методика оценивания пространственной сложности алгоритма (количества состояний), результаты экспериментального его апробирования и сравнения с жадным алгоритмом.

Во второй части третьей главы описана ультраметрическая задача коммивояжера на узкие места. Расстояния между городами в этой задаче удовлетворяют усиленному неравенству треугольника. Здесь доказана тривиальность указанной задачи (целевая функция постоянна на всем пространстве решений) и указана связь с известным результатом (Leclerc, 1981) о комбинаторной характеристике ультраметрик.

Четвертая глава описывает программный комплекс, разработанный автором диссертации для проведения вычислительных экспериментов с целью апробации вариантов точного динамического программирования и эвристики усеченного динамического программирования на задачах с условиями предшествования. Обсуждается состав и устройство актуальной версии комплекса, его функциональные возможности и интерфейс, вопросы его модернизации, межплатформенной совместимости, выбора языка программирования (C++) для его реализации, элементов объектно-ориентированного подхода.

В заключении диссертации приведены итоги исследования, рекомендации по применению результатов диссертации, перспективы дальнейшего развития исследований по теме диссертации.

Научная новизна полученных результатов

В диссертации впервые представлена комбинаторная модель маршрутной задачи с абстрактной функцией агрегирования затрат и условиями

предшествования, формализованными в терминах частично упорядоченных множеств. Для решения задач, допускающих представление в виде такой модели, построен вариант динамического программирования, допускающий эффективную реализацию, в которой аппарат решения в обоих направлениях (прямое/попятное), как для точного алгоритма, так и для его эвристического варианта (усеченное динамическое программирование), представляются единообразно, что упрощает обслуживание и развитие программного комплекса.

Качественное исследование модели перемещений с условиями предшествования состоит в получении оценок пространственной и временной сложности решения TSP-PC динамическим программированием и их приближения сверху и снизу. Метод получения оценок распространяет известные ранее в теории расписаний результаты на случай TSP-PC. Новизна результата связана с различиями в пространстве состояний динамического программирования и постановок задач.

Кроме того, впервые формально описан класс условий предшествования, порождаемый требованием всегда «вырезать внутренний контур прежде внешнего» в задачах маршрутизации инструмента в машинах листовой резки.

Обоснованность и достоверность результатов и выводов диссертации

Сформулированные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации обоснованы теоретическими построениями и экспериментальными данными, полученными в работе, корректны математически и согласуются с известным опытом создания моделей и алгоритмов решения маршрутных задач.

Результаты диссертационной работы прошли апробацию и получили положительные отзывы на российских и международных научных конференциях, а также при их обсуждении на научных семинарах.

Теоретическая и практическая значимость

Определены пространственная и временная сложность динамического программирования для задачи коммивояжера с условиями предшествования и основанной на нем эвристики усеченного динамического программирования. Экспериментально показано, что динамическим программированием можно эффективно решать определенный класс задач с условиями предшествования; выявлять попадание произвольной данной задачи в этот класс можно априорно, с существенно меньшими затратами времени и ресурсов чем потребовалось бы на попытку запустить точный алгоритм (который, в случае превышения допустимого расхода ресурсов был бы остановлен).

Соответствие паспорту специальности

Содержание диссертации соответствует требованиям паспорта специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Область исследований охватывает области исследований № 2–5 паспорта специальности:

- область исследований № 2 «Развитие качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей»;
- область исследований № 3 «Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий»;
- область исследований № 4 «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента»;
- область исследований № 5 «Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента».

Ввиду преобладания математических методов в аппарате исследования и при получении результатов, а также соответствия диссертации четырем пунктам паспорта специальности (п. № 2–5), диссертацию следует отнести к отрасли физико-математических наук.

Рекомендации к практическому применению

Качественные результаты, полученные в диссертации, рекомендуются к применению в отраслях, связанных с решением задач с условиями предшествования в логистике, оптимизации производственных процессов и энергетике, таких как оптимизация развозки заказов курьером, вертолетное ротирующее обслуживание специалистов морских нефтедобывающих платформ, оптимизация развозки заказов несколькими транспортными средствами, минимизация холостого хода манипулятора автоматизированных систем хранения или инструмента в машинах листовой резки, минимизация облучения персонала АЭС при выполнении работ в помещениях с повышенным радиационным фоном. Комплексы программ, результаты работы которых представлены в диссертации, можно рекомендовать к применению для решения задач, в которых исследование качественными методами показывает достаточно малое количество состояний динамического программирования.

Замечания ведущей организации

1. Используемая автором система обозначений представляется излишне громоздкой, что затрудняет понимание полученных результатов.

2. В список работ, опубликованных автором по теме диссертации (стр. 15–16), следовало бы включить индексируемую в Scopus статью:

Y. Sali. Revisiting dynamic programming for precedence-constrained traveling salesman problem and its time-dependent generalization. *European Journal of Operational Research*. [Электронный ресурс] 2018. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.06.003>

3. Автор утверждает, что задача о подсчете числа идеалов труднорешаема в связи с полиномиальной сводимостью к задаче о перечислении всех антицепей (стр. 10, 28). Однако в действительности здесь следует говорить об обратной сводимости.
4. Непонятно в каком смысле употребляется термин "локальный экстремум" (стр.39, 62) и как понимать фразу "глобально оптимальные маршруты могут быть неоптимальны локально" (стр.25).
5. Текст содержит некоторое количество грамматических ошибок и опечаток. Например: стр. 47: «настоящей постановке», стр.62: «оптимальной решение», стр.65: «a and b», стр 72: неудачное название Главы 4: «Точное и усеченное динамическое программирования», стр.78: «не требует использование» и др.

Указанные замечания не влияют на положительную оценку работы.

Оценка диссертационной работы в целом

Диссертация Я. В. Салия «Некоторые методы решения маршрутных задач с условиями предшествования» является законченной научной работой, выполненной на актуальную, практически и теоретически значимую тему. Все результаты являются новыми и достоверными, они дополняют и обобщают результаты отечественных и зарубежных исследований. Диссертация обладает внутренним единством, результаты работы своевременно и достаточно полно опубликованы в 6 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и докладывались на 10 научных конференциях (отечественных и международных). Автореферат полно и правильно отражает основное содержание диссертации. Текст диссертации представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, не содержит заимствованного материала без ссылки на автора и (или) источник заимствования. Диссертационное исследование не содержит результатов научных работ, выполненных в соавторстве, без ссылок на соавторов.

На основании сказанного считаем, что диссертация Я. В. Салия «Некоторые методы решения маршрутных задач с условиями предшествования» соответствует всем требованиям п.9 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое

моделирование, численные методы и комплексы программ», а её автор Салий Ярослав Витальевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Отзыв обсуждён и одобрен на заседании научного семинара «Математическое моделирование и дискретная оптимизация» лаборатории дискретной оптимизации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИМ СО РАН) 31 июля 2018 г., протокол № 5 (председатель семинара – д.ф.-м.н., доцент Еремеев А.В., секретарь – д.ф.-м.н., с.н.с. Сервах В.В.).

Отзыв подготовил
и.о. заведующего лабораторией
дискретной оптимизации
ИМ СО РАН,
ведущий научный сотрудник
д.ф.-м.н., доцент



Еремеев Антон Валентинович