

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук, профессора Лазарева Александра Алексеевича на диссертационную работу Макаровских Татьяны Анатольевны «Методы и алгоритмы решения задачи маршрутизации специального вида в плоских графах», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.17 – теоретические основы информатики.

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Макаровских Татьяны Анатольевны посвящена решению задач маршрутизации в плоских графах, которые являются гомеоморфными образами раскройных планов. С помощью неориентированного графа целесообразно отобразить всевозможные элементы траектории при построении систем управления раскройными автоматами. Маршрут, покрывающий все границы вырезаемых деталей, определяет траекторию движения режущего инструмента. При этом возникают проблемы построения маршрутов, удовлетворяющих технологическим ограничениям, в частности, отсутствие пересечения внутренних граней любой начальной части маршрута с ребрами его оставшейся части; отсутствие самопересечений траектории реза, возможность осуществления врезки только в заданных начальных вершинах.

Цель, задачи и результаты диссертационного исследования

Целью диссертационного исследования Т.А. Макаровских является решение проблемы маршрутизации специального вида в плоских графах. Для выполнения данной цели ею были решены следующие задачи:

1. Введены классы маршрутов в плоских графах, удовлетворяющих различным наборам технологических ограничений: маршруты с упорядоченным охватыванием (ОЕ), самонепересекающиеся маршруты с упорядоченным охватыванием (НОЕ), ОЕ-маршруты с ограничениями на точки врезки (РРОЕ). Доказано существование маршрутов для классов ОЕ и НОЕ. Для класса РРОЕ-маршрутов доказаны необходимые и достаточные условия их существования.

2. Определен способ представления гомеоморфного образа раскройного плана, позволяющего эффективно решать поставленные проблемы маршрутизации, и разработаны полиномиальные алгоритмы

решения проблемы построения маршрутов указанного вида в плоских графах. Доказана их корректность. Разработано программное обеспечение для реализации представленных алгоритмов.

3. Получены оценки количества полученных маршрутов специального вида.

Содержание текста диссертации

Первая глава диссертации посвящена аналитическому обзору литературы, отражающему состояние проблемы применения графов в математическом моделировании, показано место решаемой в данной работе задачи относительно ранее опубликованных в научной литературе результатов. Показано, что в ряде известных работ, посвященных задаче построения в плоском эйлеровом графе эйлерова цикла при наличии ограничений, отсутствуют строгая формализация и доказательство результативности алгоритмов. Кроме того, эти алгоритмы имеют достаточно высокую вычислительную сложность. Отмечена актуальность задачи построения плоской самонепересекающейся цепи, а также потенциальная возможность построения покрытий, удовлетворяющих требуемым ограничениям, в частности, для задач маршрутизации в плоских графах.

Вторая глава посвящена классу маршрутов с упорядоченным охватыванием (ОЕ-маршрутов), удовлетворяющих условию отсутствия пересечения внутренних граней любой начальной части маршрута с ребрами его оставшейся части. Формально такие маршруты определены как упорядоченная последовательность ОЕ-цепей графа $G = (V, E)$. Сформулирована и доказана теорема существования ОЕ-цикла в плоском эйлеровом графе, разработаны алгоритмы построения ОЕ-маршрута с минимальным по мощности упорядоченным множеством цепей, ОЕ-маршрута с минимальной длиной переходов между последовательными цепями. Определена оценка мощности эйлерова ОЕ-покрытия для произвольного плоского связного графа, показано, что на мощность покрытия существенное влияние оказывает наличие мостов в графе. Разработаны полиномиальные алгоритмы решения задачи построения ОЕ-маршрутов для плоского эйлерова графа и рассмотрена их программная реализация.

В третьей главе рассмотрены маршруты с локальными ограничениями (т.е. ограничениями на порядок следования ребер, заданный в текущей вершине). Приведены полиномиальные алгоритмы построения допустимых эйлеровых цепей и покрытий такими цепями. Введен класс АОЕ-цепей, содержащий А-цепи с упорядоченным охватыванием. Доказано, что для существующей системы переходов, которая соответствует некоторой А-цепи, можно построить ОЕ-цепь, задав начальную вершину и завершающее ребро. Разработан полиномиальный алгоритм поиска АОЕ-цепи в плоском связном 4-регулярном графе. Введен класс NOЕ-маршрутов в плоских графах. Этот класс является расширением класса АОЕ и в него входят все самонепересекающиеся ОЕ-цепи. Разработан полиномиальный алгоритм построения NOЕ-цепи. Его выполнение состоит в сведении исходного плоского графа к плоскому связному 4-регулярному графу за счет расщепления вершин степени выше 4 и дальнейшего выполнения алгоритма. Определены оценки количества ОЕ-цепей для заданной системы переходов.

В четвертой главе показано, каким образом рассмотренные алгоритмы могут быть применены в CAD/CAM-системах технологической подготовки процессов раскроя для решения задачи маршрутизации в раскройных планах, допускающих совмещение границ вырезаемых деталей. Рассмотрен класс PPOЕ-маршрутов, т.е. маршрутов с ограничениями на возможные начальные вершины покрывающих цепей (т.е. на точки врезки). Доказаны необходимые и достаточные условия существования таких маршрутов.

Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

Обоснованность и достоверность результатов диссертации

Достоверность и обоснованность результатов полученных в диссертационной работе, базируется на использовании апробированных научных положений, методов исследования, корректном применении математического аппарата, согласовании новых научных результатов с известными теоретическими положениями.

Научная новизна результатов диссертации

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Введены следующие классы маршрутов в плоских графах:
 - а) класс ОЕ-маршрутов: маршруты введенного класса представляют упорядоченную последовательность реберно-непересекающихся цепей, покрывающих граф, в которой отсутствуют пересечения внутренности пройденной части маршрута с ребрами его непройденной части;
 - б) класс АОЕ-маршрутов в плоских графах: маршруты введенного класса являются ОЕ-маршрутами, для которых выполнено дополнительное локальное ограничение – следующее ребро определяется заданным циклическим порядком на множестве ребер, инцидентных текущей вершине;
 - с) класс NOЕ-маршрутов в плоских графах: класс является расширением класса АОЕ и в него входят все маршруты, состоящие из непересекающихся ОЕ-цепей.
2. Разработаны полиномиальные алгоритмы нахождения в плоском графе $G=(V,E)$ маршрутов введенных классов.
3. Определены оценки количества ОЕ-цепей для фиксированной системы переходов (последовательности обхода ребер).

Теоретическая и практическая ценность диссертации

Теоретическая ценность диссертационного исследования состоит в расширении класса задач построения маршрутов специального вида в плоских графах и в разработке полиномиальных алгоритмов нахождения этих маршрутов.

Практическая ценность диссертационного исследования состоит в том, что разработанные алгоритмы могут быть применены в CAD/CAM системах технологической подготовки процессов раскроя, ориентированных на использование ресурсосберегающих технологий.

Замечания по диссертации

Имеются следующие замечания:

1. В работе остаётся неясным, является ли представленный класс задач используемым для практических задач кроме исследованной в работе

задачи определения траектории движения режущего инструмента. Отсутствует какой-либо обзор данного вопроса.

2. Не для всех разработанных алгоритмов исследована их трудоёмкость.
3. Не проведено сравнение предложенных алгоритмов с какими-либо другими алгоритмами дискретной оптимизации. Не исследован вопрос эффективности построенных алгоритмов.
4. В теореме 12 утверждается, что алгоритм DoubleBridging позволяет строить оптимальное покрытие ОЕ-цепями объединения дуг графов, на разделяющих гранях компонент которого отсутствуют вершины нечетной степени. Неясно, является ли это условие необходимым.
5. Для класса АОЕ-цепей в работе приводится алгоритм только для одного частного случая: плоского связного 4-регулярного графа.

Данные замечания носят рекомендательный характер и не снижают значимости полученных результатов и общего высокого научного уровня работы:

Публикации и апробации

Опубликованные автором 14 статей в журналах Перечня ВАК и 13 статей в изданиях библиографических баз Scopus и Web of Science с достаточной полнотой отражают основные результаты диссертации. Результаты исследования прошли апробацию на большом количестве международных и всероссийских научных конференций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа Макаровских Татьяны Анатольевны представляет собой самостоятельно выполненную и законченную научно-квалификационную работу, в которой автором предложены новые эффективные методы нахождения маршрутов, удовлетворяющих различным видам ограничений, что позволяет расширить и формализовать классы задач построения в плоских графах маршрутов специального вида, удовлетворяющих технологическим ограничениям CAD/CAM-систем технологической подготовки процессов раскроя. Предложенная теория дает новый импульс для построения новых методов решения задач вырезания деталей, позволяя формализовать требования к раскройным планам,

ориентированным на применение ресурсосберегающих технологий. Совокупность полученных Т.А. Макаровских результатов можно квалифицировать как научный результат, и её диссертационная работа соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, включая п. 9. **Макаровских Татьяна Анатольевна заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики.**

Официальный оппонент:

Александр Алексеевич Лазарев
10 февраля 2020 г.

Доктор физ.-мат. наук, профессор
главный научный сотрудник, заведующий лабораторией Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва
Адрес организации: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65
Телефон: +7(495)3348751
Email: jobmath@mail.ru



СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОППОНЕНТЕ

диссертации Макаровских Т.А. «Методы и алгоритмы решения задачи маршрутизации специального вида в плоских графах» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.17 – теоретические основы информатики

Фамилия, имя, отчество	Лазарев Александр Алексеевич
Ученая степень (с указанием номера и шифра специальности)	Доктор физико-математических наук, 01.01.09 - Дискретная математика и математическая кибернетика
Ученое звание	Профессор
Организация основного места работы	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Ведомственная принадлежность	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Занимаемая должность	Главный научный сотрудник
Почтовый адрес	117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65
Телефон	+7(495)3348751
Адрес электронной почты	jobmath@mail.ru

Список основных публикаций по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях

1. Архипов Д. И., Лазарев А. А. Минимизация максимального взвешенного временного смещения доставки заказов между двумя железнодорожными станциями // Автомат. и телемех., 2016, № 12, 3–25.

2. Лазарев А.А., Архипов Д.И. Минимизация максимального временного смещения для одного прибора //Автоматика и телемеханика. 2016. № 4. С. 134-152.

3. Зиндер Я., Лазарев А.А., Мусатова Е.Г., Тарасов И.А. Построение расписаний двухстороннего движения на однопутной железной дороге с разъездом// Автоматика и телемеханика. 2018. № 3. С. 144-166.

4. Lazarev A.A., Nekrasov I., Pravdivets N. Evaluating typical algorithms of combinatorial optimization to solve continuous-time based scheduling problem// Algorithms. 2018. T. 11. № 4. С. 50. DOI: 10.3390/a11040050

5. Lazarev A.A., Arkhipov D.I., Werner F. Scheduling jobs with equal processing times on a single machine: minimizing maximum lateness and makespan// Optimization Letters. 2017. T. 11. № 1. С. 165-177. DOI: 10.1007/s11590-016-1003-y

6. Архипов Д.И., Лазарев А.А., Тарасов Г.В. Определение загрузки ресурсов при поиске нижних оценок для задачи RCPSP// Прикладная математика и вопросы управления. 2017. № 3. С. 35-46.

7. Arkhipov D., Battaia O., Lazarev A. An efficient pseudo-polynomial algorithm for finding a lower bound on the makespan for the resource constrained project scheduling problem // European Journal of Operational Research. 2019. T. 275. № 1. С. 35-44. DOI: 10.1016/j.ejor.2018.11.005

8. Lazarev A.A., Musatova E.G., Tarasov I.A. Two-directional traffic scheduling problem solution for a single-track railway with siding // Automation and Remote Control. 2016. T. 77. № 12. С. 2118-2131. DOI: 10.1134/S0005117916120031

9. Lazarev A.A., Arkhipov D.I. Minimization of maximum lateness with equal processing times for single machine// IFAC-PapersOnLine. 2015. T. 48. № 3. С. 806-809. DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.06.182

10. Лазарев А.А. Теория расписаний. Методы и алгоритмы. – М.: ИПУ РАН, 2019. – 408 с.

/ Лазарев А.А. /

