

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Михеевой Татьяны Ивановны 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. Интерес к задачам маршрутизации объясняется их использованием в качестве математических моделей многих проблем управления и автоматизации проектирования. Многие задачи проектирования маршрутов, удовлетворяющих определенным ограничениям, появились из конкретных практических ситуаций.

В диссертационной работе Т.А. Макаровских используется методика теории графов для решения задач маршрутизации. Наиболее подробно рассматриваются плоские графы, являющиеся гомеоморфными образами раскройных планов, когда с помощью неориентированного графа отображаются всевозможные элементы траектории движения 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. На практике наибольшее распространение получил материалоемкий и довольно энергозатратный подход, не предполагающий совмещение контуров вырезаемых деталей. Алгоритмы нахождения маршрутов движения режущего инструмента для задач, допускающих совмещение резов, принципиально отличаются от задач, не допускающих совмещение. При отсутствии совмещения маршрут будет состоять из последовательного обхода контуров, т.е. ее решение сводится к решению обобщенной задачи коммивояжера. При наличии совмещений необходимо учитывать дополнительные условия: отсутствие пересечения внутренних граней любой начальной части маршрута с ребрами его оставшейся части и отсутствие пересечения траектории резки. Разработка эффективных алгоритмов нахождения маршрута режущего инструмента для

раскройных планов, допускающих совмещение контуров вырезаемых деталей, является актуальной задачей.

Целью диссертационного исследования Т.А. Макаровских является разработка эффективных алгоритмов нахождения маршрута режущего инструмента для раскройных планов, допускающих совмещение контуров вырезаемых деталей.

Для достижения данной цели Т.А. Макаровских поставлены следующие **задачи**:

- определить способ представления гомеоморфного образа раскройного плана, позволяющего эффективно решать проблемы маршрутизации;
- доказать существование маршрутов, удовлетворяющих приведенному выше набору ограничений, для плоских графов;
- разработать методы и алгоритмы решения проблемы построения маршрутов специального вида в плоских графах и доказать их корректность;
- разработать программное обеспечение для реализации представленных алгоритмов;
- получить 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:

- Известные алгоритмы позволяют построить эйлеровы цепи или покрытия цепями без учета ограничений на порядок обхода ребер. Граф G , как правило, имеет много эйлеровых цепей, а, следовательно, и разложений на цепи, поэтому имеется потенциальная возможность построения разложений, удовлетворяющих дополнительным ограничениям.
- Практика требует построения маршрутов, удовлетворяющих различным ограничениям на последовательность ребер. В частности, ограничения можно классифицировать на локальные и глобальные.

- Известные алгоритмы позволяют построить простую цепь между двумя различными вершинами, удовлетворяющую локальным ограничениям. Задача построения эйлеровой совместимой цепи является открытой. Остается открытой и задача построения эйлерова цикла, удовлетворяющего заданным локальным и глобальным ограничениям в плоском графе. В известных работах, посвященных задаче построения в плоском эйлеровом графе эйлерова цикла при наличии ограничений, отсутствуют строгая формализация и доказательство результативности алгоритма. Кроме того, известные алгоритмы имеют достаточно высокую вычислительную сложность.
- Актуальной задачей является алгоритм построения плоской самонепересекающейся ОЕ-цепи.
- Имеется потенциальная возможность построения покрытий, удовлетворяющих требуемым ограничениям, в частности, для задач маршрутизации в плоских графах. Однако, эффективных алгоритмов таких задач не найдено.

Вторая глава посвящена классу маршрутов с упорядоченным охватыванием (ОЕ-маршрутов), удовлетворяющих условию отсутствия пересечения внутренних граней любой его начальной части с ребрами его оставшейся части. Формально такие маршруты определены как упорядоченная последовательность ОЕ-цепей графа $G=(V,E)$. Показано, что введенный класс ОЕ-маршрутов является адекватной математической моделью задачи нахождения маршрута движения режущего инструмента при раскрое листового материала, для которого отрезанная от листа часть не требует дополнительных разрезов.

Сформулирована и доказана теорема существования ОЕ-цикла в плоском эйлеровом графе, ОЕ-маршрута с минимальным по мощности упорядоченным множеством цепей, ОЕ-маршрута с минимальным по мощности упорядоченным множеством цепей и 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 (возможно, не связного) эйлерова графа, и рассмотрена их программная реализация.

В третьей главе рассмотрены маршруты с локальными ограничениями (т.е. ограничениями на порядок ребер, заданные в текущей вершине или для текущего ребра).

- Показана возможность распознавания системы переходов, которая позволяет решить задачу построения совместимого пути за линейное время. Разработаны полиномиальные алгоритмы, с помощью которых в эйлеровом графе возможно построить совместимый эйлеров цикл или установить его отсутствие, а также построить покрытие графа совместимыми цепями.
- Разработанный алгоритм АОЕ-TRAIL позволяет построить АОЕ-цепь для любого 4-регулярного графа. Показано, что ОЕ-цепь можно считать последовательностью нескольких A_6 -совместимых цепей.
- Введен класс NOЕ-маршрутов в плоских графах, являющийся расширением класса АОЕ, в который входят все ОЕ-цепи, имеющие непересекающиеся переходы. Разработан алгоритм Non-intersecting 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 АОЕ-TRAIL.
- Определены оценки числа ОЕ-цепей для фиксированной системы переходов. Данные результаты могут быть использованы при технологической подготовке процесса вырезания деталей, когда раскройный план представлен в виде плоского графа, траектория движения режущего инструмента является ОЕ-цепью и требуется определить все возможные точки старта процесса вырезания при фиксированной последовательности вырезания деталей.

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. маршру-

тов с фиксированными точками врезки. Доказаны необходимые и достаточные условия существования таких маршрутов.

Текст автореферата достоверно отражает содержание диссертации.

Достоверность и обоснованность полученных 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 полученных в диссертационном исследовании результатов заключается в формировании общего подхода к решению задач маршрутизации специального вида в плоских графах и состоит в следующем:

1. Введен класс ОЕ-маршрутов в плоских графах. Маршруты введенного класса представляют упорядоченную последовательность реберно-непересекающихся цепей, покрывающих граф, в которой отсутствуют пересечения внутренности пройденной части маршрута с ребрами его непройденной части. Показано, что на мощность покрытия существенное влияние оказывает наличие мостов в графе.
2. Доказано, что плоские эйлеровы графы имеют эйлеровы циклы, принадлежащие классу ОЕ.
3. Введен 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 (т.е. все цепи построенного маршрута являются А-цепями).
4. Введен класс NOЕ-маршрутов в плоских графах. Этот класс является расширением класса АОЕ и в него входят все маршруты состоящие из непересекающихся ОЕ-цепей.
5. Разработаны эффективные алгоритмы нахождения в плоском графе $G=(V,E)$ маршрутов введенных классов, имеющие полиномиальную вычислительную сложность. Данные алгоритмы позволяют миними-

зировать длину дополнительных переходов между концевыми вершинами цепей графа $G=(V,E)$.

6. Определены оценки количества ОЕ-цепей для фиксированной системы переходов (последовательности обхода ребер), что может быть полезно, когда требуется определить все возможные точки старта процесса вырезания при фиксированной последовательности вырезания деталей.

Теоретическая ценность диссертационного исследования состоит в расширении класса задач построения маршрутов специального вида в плоских графах и состоит в разработке эффективных алгоритмов нахождения маршрутов специального вида, удовлетворяющих технологическим ограничениям.

Практическая ценность диссертационного исследования состоит в том, что разработанные алгоритмы могут быть применены в системах технологической подготовки процессов раскроя, ориентированных на использование ресурсосберегающих технологий, в частности, для раскройных планов с совмещенными резами.

Замечания по диссертации. Имеются следующие замечания по диссертационной работе Т.А. Макаровских:

1. В работе подробно рассмотрено приложение разработанных алгоритмов при решении задачи вырезания деталей; применение рассмотренных алгоритмов в других областях науки и техники освещено поверхностно. В частности, не приведены практические приложения для цепей с локальными ограничениями (раздел 3.1).
 2. В разделе 3.5 не приведены оценки количества NOE-цепей для заданной системы переходов.
 3. В работе имеется ряд стилистических неточностей и опечаток.
- Данные замечания не снижают значимости полученных результатов и общего научного уровня работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации Т.А. Макаровских предложены эффективные методы формализации задач построения в плоских графах маршрутов, удовлетворяющих технологическим ограничениям при подготовке методики раскроя, а также полиномиальные алгоритмы нахождения маршрутов, удовлетворяющих принятым ограничениям, что пред-

ставляет собой законченную, самостоятельную, научно-квалификационную работу. Описанная в диссертации теория обладает новизной в построении методов решения задач конструирования формы деталей, ориентированных на применение новизны технологий.

Считаю, что диссертационная работа Т.А. Макаровских соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», включая п. 9. Совокупность результатов, полученных Т.А. Макаровских, можно квалифицировать, как научное достижение. В результате, Т.А. Макаровских, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики.

Официальный оппонент:



Татьяна Ивановна Михеева
«10» марта 2020 г.

Доктор техн. наук, профессор,
профессор кафедры организации и управления перевозками на транспорте, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара

Адрес организации: 443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, д. 34

Телефон: +79272033248

Email: Mikheevati@Gmail.com

Подпись д.т.н. Михеевой Т.И. заверяю

Ученый секретарь

ФГАОУВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»
профессор, д.т.н.



В.С. Кузьмичев

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	Михеева Татьяна Ивановна
Ученая степень (с указанием номера и шифра специальности)	Доктор технических наук, 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации
Ученое звание	Профессор
Организация основного места работы	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»
Ведомственная принадлежность	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Занимаемая должность	Профессор
Почтовый адрес	443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, д. 34
Телефон	+79272033248
Адрес электронной почты	Mikheevati@Gmail.com

Список основных публикаций по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях

1. Михеев С.В., Михеева Т.И. Стратифицированная паттерновая модель системы поддержки принятия решения при управлении транспортной инфраструктурой // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 6-2. С. 358-363.
2. Михеева Т.И. Системный анализ объектов транспортной инфраструктуры в геоинформационной среде// Программные продукты и системы. 2018. № 1. С. 12-18.
3. Михеева Т.И., Федосеев А.А., Михеев С.В., Головнин О.К. Метод синтеза тематического слоя объектов транспортной сети на основе материалов космической съемки // Информационные технологии. 2017. Т. 23. № 11. С. 808-816.
4. Михеева Т.И., Михеев С.В., Головнин О.К. Система автоматизированного проектирования геовидеомаршрутов waymark. Самара, 2017.
5. Золотовицкий А.В., Михеева Т.И., Сидоров А.В. Методы работы с графовой моделью транспортной сети в геоинформационной системе itsgis //

Перспективные информационные технологии (ПИТ 2015) труды Международной научно-технической конференции. Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва. 2015. С. 66-70.

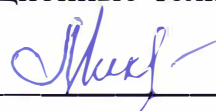
6. Михеева Т.И., Ключников В.А., Сидоров А.В. Кластеризация графа улично-дорожной сети города // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS'2016) Proceedings of the 4th International Conference. 2016. С. 6-9.

7. Чекина Е.В., Михеев С.В., Остроглазов Н.А., Михеева Т.И. Метод построения маршрутов беспилотного летательного аппарата на интерактивной электронной карте// Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений Труды VII Всероссийской научной конференции (с приглашением зарубежных ученых). В 3-х томах. 2019. С. 1-6.

8. Михеева Т.И., Чугунов А.И. Системный анализ в задаче построения безопасных маршрутов на электронной карте// В сборнике: ИТ & ТРАНСПОРТ Сборник научных статей. Под ред. Т.И. Михеевой. Самара, 2017. С. 84-92.

9. Михеева Т.И., Сидоров А.В., Михайлов Д.А. Нейровизуальные модели поддержки принятия решений дислокации объектов управления транспортными потоками // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 2-5. С. 1063-1068.

10. Михеева Т.И., Головнин О.К. Структурно-параметрический синтез распределенной геоинформационной системы решения задач сетецентрического управления транспортными процессами на основе паттернов // Системная инженерия и информационные технологии. 2019. Т. 1. № 1 (1). С. 22-31.

 / Михеева Т.И. /

