

ОТЗЫВ

официального оппонента

члена-корреспондента Академии наук Республики Татарстан,
доктора технических наук, профессора Сахапова Р.Л. на диссертацию
Лавренова Романа Олеговича на тему «Математическое и программное
обеспечение решения задачи многокритериального поиска пути мобильного
объекта», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое
моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертация Лавренова Р.О. посвящена проблеме поиска оптимального маршрута. Целью диссертационного исследования является решение задачи поиска оптимальной сплайн-траектории среди нескольких гомотопических классов с учетом множества критериев оптимальности для наземных автономных робототехнических платформ.

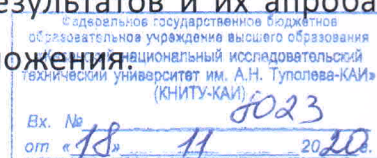
Исследования в области разработки алгоритмов поиска оптимального маршрута для интеллектуальных мобильных устройств и интеллектуального транспорта представляют в настоящее время большой интерес. Актуальными являются как теоретические исследования в данной области, направленные на разработку алгоритмов многокритериальной оптимизации траекторий, так и апробация полученных результатов на практике.

Оценка содержания работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 126 источников и двух приложений. Общий объем работы составляет 138 страниц, включая приложения объемом 5 страниц.

Во введении обосновывается актуальность диссертационного исследования, формулируется цель и основные задачи работы, описывается предлагаемый автором подход к решению поставленных задач, характеризуется степень новизны полученных результатов и их апробация.

Представлены выносимые на защиту научные положения:



В первой главе проведен обзор и анализ существующих алгоритмов планирования маршрута для автономных мобильных платформ. Приведены алгоритмы глобального и локального поиска пути, в том числе в разных гомотопических классах. Далее, в первой главе внимание было уделено методам, использующим потенциальное поле, и методам на основе графов. В частности, алгоритмам на основе расчета графа Вороного. После этого был проведен обзор методов сглаживания и спрямления построенных траекторий. В завершении был приведен обзор алгоритмов оптимизации многомерных функций, в частности используемый в дальнейшем метод Нелдера-Мида.

Вторая глава посвящена анализу исходного многокритериального сплайн-алгоритма и используемой в нем целевой функции. Также в данной главе описывается проведенный обзор возможных критериев оптимизации. Сплайн-алгоритм тестируется на возможные ошибки и на влияние дополнительных критериев целевой функции на результирующий путь. В исходном алгоритме было выявлено несколько существенных недостатков.

Третья глава посвящена разработке нового алгоритма планирования пути, который исправляет недостатки оригинального алгоритма. Математическая модель алгоритма использует конфигурационное пространство препятствий. Разработанный алгоритм использует предварительно построенный граф Вороного для поиска начальной итерации, далее используемой при оптимизации. Разработан алгоритм поиска нескольких путей во взвешенном графе на основе алгоритма A^* . Приводится доказательство, что этот алгоритм находит существующие пути в порядке увеличения их длины. Алгоритм поиска нескольких путей интегрируется в новый комбинированный сплайн-алгоритм. Приводится результат сравнения нового и исходного алгоритмов в ходе статистически значимого количества экспериментов в среде Matlab.

В четвертой главе диссертации приведено описание Робототехнической Операционной Системы и обзор методов, имеющих реализацию в РОС. Далее в четвертой главе описана модификация разработанного алгоритма для использования в Робототехнической Операционной Системе и на автономных робототехнических платформах для использования с вероятностными картами. После реализации на языке программирования C++ было проведено

статистически значимое количество тестов алгоритма в Робототехнической Операционной Системе и симуляторе Gazebo и приведены результаты экспериментов.

В заключении сформулированы основные научные и практические результаты диссертационной работы.

В приложении А представлен список реализованных динамических параметров программного обеспечения. В приложении Б представлены акты внедрения результатов диссертационной работы в ООО «Эйдос-Робототехника», в учебный процесс кафедры интеллектуальной робототехники КФУ и представлено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

В качестве замечаний можно отметить следующее:

1. Отсутствие выводов к смысловым блокам работы затрудняет понимание мотивации выбора и разработки алгоритмов. Многие разделы и подразделы заканчиваются списками.
2. На рисунках 3.11, 3.12, 4.7, 4.12, отсутствует название оси ординат, и ось абсцисс имеет обратное направление.
3. Автор не указал ограничения работы разработанного алгоритма.
4. В тексте попадаются предложения требующие пояснения. Например, «Основной критерий оптимальности пути — это его безопасность для мобильного устройства» или «Алгоритм не подходит для применения на реальных мобильных робототехнических платформах, которые не являются математическими точками».

Указанные недостатки носят рекомендационный характер и не влияют на общую положительную оценку всей работы.

Степень обоснованности научных положений и выводов

Научные положения, теоретические выводы и практические рекомендации, сформулированные в диссертации Лавренова Р.О. имеют достаточно высокую степень обоснованности. Теоретические положения диссертационного исследования основаны на использовании аппарата математического моделирования, многомерной оптимизации,

имитационного моделирования, а также опытом практического применения разработанного программного комплекса.

Достоверность и новизна научных положений и выводов

Научные положения, выводы и рекомендации диссертационного исследования Лавренова Р.О. обладают необходимым уровнем достоверности и новизны.

Сформулированные в диссертационной работе научные положения, выводы и рекомендации позволяют утверждать, что автору удалось развить теоретические основы, модели, методы и алгоритмы для решения задачи поиска маршрута для мобильных объектов. Предложенный автором подход, основанный на множественном поиске в графе, сплайн-оптимизации траекторий по заданной многокритериальной функции создает новые возможности для повышения эффективности и безопасности автономной работы мобильных робототехнических устройств.

Следует выделить новые научные результаты диссертационного исследования:

1. Предложена классификация методов построения графов Вороного исходя из топологии окружающего пространства.
2. Разработана новая модификация алгоритма поиска k -кратчайших путей во взвешенном графе с использованием эвристической функции оценки узлов графа из метода A^* .
3. Разработан новый алгоритм планирования пути, который проводит поиск в нескольких гомотопических классах с использованием рассчитанного графа Вороного, интерполирует найденные траектории с помощью b -сплайнов и оптимизирует по заданным критериям оптимальности с помощью симплекс метода Нелдера-Мида.

Сформулированные автором научные положения, выводы и рекомендации достаточно обоснованы, а их достоверность и новизна не вызывает сомнений.

Достоверность и новизна научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждена публикацией автором 12 научных работ, из них 4 статей, входящих в перечень ВАК РФ рецензируемых

научных изданий, и 7 статей, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science.

Заключение

Диссертационная работа Лавренова Р.О. «Математическое и программное обеспечение решения задачи многокритериального поиска пути мобильного объекта» является завершенной научно-исследовательской работой, выполненной автором.

Работа аккуратно оформлена. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Текст автореферата полностью соответствует основному содержанию диссертации. Содержание автореферата и диссертации соответствует заявленной специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

На основании вышеизложенного считаю, что представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор, Лавренов Роман Олегович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Член-корреспондент Академии наук РТ,
заведующий кафедрой "Дорожно-
строительные машины",
доктор технических наук,
профессор



Сахапов Р.Л.



Р. Л. Сахапова

С. В. Шмидтова МЧ