

Отзыв официального оппонента

руководителя группы разработки программного обеспечения беспилотных летательных аппаратов ООО «Стилсофт», кандидата технических наук Исаева Михаила Александровича на диссертационную работу Алхалили Алак Сабах Бадри на тему «Предотвращение столкновений при движении мобильного робота в среде со статическими и динамическими препятствиями», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.4. «Роботы, мехатроника и робототехнические системы» (технические науки).

Актуальность темы исследования и факторы, определяющие новизну диссертации

В последнее время сфера применения мобильных роботов (МР) постоянно расширяется. Одним из факторов, способствующих их распространению, является снижение когнитивной нагрузки на оператора, чего достигают, в частности, за счёт автоматического движения МР из текущего местоположения к заданному в условиях динамического перемещения различного рода препятствий. В подобных условиях эксплуатации критически важным становится своевременное изменение траектории движения МР таким образом, чтобы избежать столкновения с препятствием и при этом достичь целевой точки.

В ближайшем будущем ожидается рост числа автономных мобильных роботов. Для обеспечения их безопасного применения и эффективного функционирования необходимы алгоритмы планирования действий и движения, предотвращающие столкновения в недетерминированной обстановке.

Работа Алхалили А.С.Б. посвящена решению задачи обеспечения безопасного движения мобильного колесного робота по заданной траектории в присутствии подвижных и неподвижных препятствий, что представляет собой актуальную задачу для практического применения.

Применительно к данной работе важными факторами, определяющими актуальность исследования, являются следующие:

- Рассмотрение задачи выбора оптимального пути в изменяющихся условиях окружающей среды в режиме реального времени с учетом вычислительных

ограничений, присущих бортовым системам МР. В большинстве существующих подходов планируемая траектория рассматривается в детерминированных условиях либо её расчет требует таких вычислительных ресурсов, которые не позволяют корректировать движение в режиме реального времени с достаточной степенью надежности в условиях недетерминированной обстановки;

- Учет наличия группы препятствий в области нахождения МР при построении траектории движения.

Применительно к рассматриваемому исследованию важными факторами, определяющими его научную и практическую актуальность, являются:

- Планирование траектории движения в режиме реального времени в изменяющихся условиях окружающей среды с множеством статических и динамических препятствий;
- Использование нейросетевого планировщика движений робота для объезда препятствий, основанного на коррекции выходных значений нейронной сети, а не на изменении функций вознаграждения.

Основные формальные положения работы

Объектом исследования являются мобильные роботы, осуществляющие траекторное движение в целевую точку в недетерминированных условиях при наличии статических и динамических препятствий.

Предметом исследования являются методы планирования движений МР, а также алгоритмы их реализующие, обеспечивающие объезд препятствий и предотвращение столкновений при движении робота к целевой точке.

Целью исследования является предотвращение столкновений с препятствиями при движении МР по траектории, на основе прогнозных оценок на интервале прогнозирования и нейросетевом управлении при выполнении объезда препятствия.

Для достижения цели исследования в работе поставлена и решена научная задача разработки методов вероятностной оценки столкновения МР с препятствием, а также предотвращения столкновения за счет планирования траектории движения в режиме реального времени. Для достижения этой цели работа декомпозирована на следующие частные научные задачи исследования:

1. Анализ известных методов планирования траекторий и управления движением мобильных роботов в недетерминированных условиях;
2. Разработка метода оценки вероятности столкновения на изменяемом интервале прогнозирования с учетом характерных особенностей информационного обеспечения мобильного робота;
3. Разработка метода планирования движений МР в среде со статическими и динамическими препятствиями для предотвращения столкновений и осуществления объезда препятствий;
4. Разработка дискретно-непрерывной имитационной модели движения объектов в рабочей зоне мобильного робота с учетом стохастичности параметров их движения;
5. Разработка виртуальных моделей движения МР и препятствий, параметры которых изменяются случайным образом, на основе различных методов управления движением робота;
6. Анализ эффективности разработанного метода планирования движений МР при объезде препятствий.

Основные результаты и их новизна

Признаками научной новизны обладают следующие, наиболее важные результаты исследования:

- Метод предотвращения столкновений при движении мобильного робота по траектории в среде с препятствиями, оценивающий вероятность столкновения на интервале прогнозирования с учетом стохастичности параметров

препятствий, определяющий параметры движения робота для объезда препятствия с использованием нейросетевого планировщика;

- Нейросетевое решение для определения заданных параметров движения робота в точку объезда, структура которого и алгоритмы обучения с подкреплением позволяют учесть стохастичность препятствий. Отличается от известных тем, что входными значениями нейросети являются положение и параметры препятствий в ближней зоне робота, а обучение сети выполняется итерационно с использованием имитационного моделирования;
- Имитационная модель движения МР в рабочей зоне с неподвижными и подвижными препятствиями, в которой реализован случайный характер движения препятствий и дискретно-непрерывные процессы обновления текущей информации о препятствиях в ближней зоне робота, позволяющая использовать различные методы планирования движения робота.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы

Теоретическая значимость заключается в:

- В разработке метода предотвращения столкновений робота при его движении по траектории в среде с препятствиями использующий стохастическое прогнозирование и планирования движения объезда с учетом случайного характера параметров препятствий, что характерно для задач обеспечения безопасности движения автономных наземных роботов;
- В развитии методики создания и итерационного обучения нейронной сети планировщика движений объезда, учитывающей параметры препятствий в ближней зоне робота, отличающаяся тем, что определяет точку для безопасного объезда препятствия и позволяет выполнять накопление новых данных для последующего дообучения нейронной сети;
- В разработке метода энтропийной регуляризации решений нейросетевого планировщика движений робота для объезда препятствия, основанный на стохастическая коррекция положения точки объезда и выборе лучшего решения, что дает возможность находить лучшие решения.

Практическая значимость заключается в:

- Разработке нейросетевое решения, определяющее параметры движения робота в точку объезда для избежания столкновения, позволяющее в процессе работы накапливать данные для последующего обучения (дообучения) на основе алгоритмом обучения с подкреплением;
- Создании имитационной модели процессов движения мобильного робота в рабочей зоне со статическими и динамическими препятствиями, отличающаяся учетом стохастичности параметров препятствий и вероятностной оценкой возможных столкновений на интервале прогнозирования;
- Разработке алгоритмов принятия решений об объезде препятствий и определения параметров движения робота для объезда препятствия на основе нейросетевого планировщика, позволяющие роботу двигаться по траектории без столкновений.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы

Обоснованность и достоверность научных положений, результатов и решений, представленных в диссертационной работе, подтверждается:

- Корректным использованием принципов и методов математического моделирования робототехнических систем, положений системного анализа, физических законов движения твердых тел, имитационного моделирования динамических и стохастических систем, методов создания и применения искусственных нейронных сетей;
- Использованием современных программных средств для создания виртуальных моделей, моделирования и обработки результатов экспериментов. Использованные методы соответствуют требованиям к научным исследованиям в области разработки и проектирования новых типов робототехнических систем;

- Сравнительным тестированием различных методов управления мобильным роботом в среде со статическими и динамическими препятствиями.

Таким образом, можно сделать вывод, что полученные соискателем результаты соответствуют критериям п. 10 «Положения о присуждении ученых степеней», а именно «Предложенные автором диссертации решения должны быть аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями».

Соответствие паспорту специальности

Т.к. работа посвящена предотвращению столкновений при движении мобильного робота в среде со статическими и динамическими препятствиями, то можно обоснованно сделать вывод что проблематика диссертационного исследования соответствует паспорту специальности 2.5.4. «Роботы, мехатроника и робототехнические системы» по следующим пунктам:

4. Математическое и полунатурное моделирование мехатронных и робототехнических систем, включая взаимодействие со средой, анализ их характеристик, оптимизация и синтез по результатам моделирования.

5. Методы, алгоритмы, программные и аппаратные средства управления роботами, робототехническими и мехатронными системами, включая адаптивное, оптимальное, распределенное, интеллектуальное и супервизорное управление.

Публикация результатов исследования

Выполненные по диссертационной работе исследования обсуждались на все-российских и международных научных конференциях. Материалы диссертации достаточно полно изложены в 13 публикациях. Из них 4 работы опубликованы в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ, 1 работа опубликована в журнале, индексируемом в международной реферативной базе Scopus. Также имеется 7 публикаций по материалам конференций и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Апробация, реализация и использование результатов исследования

Результаты исследования представлялись и обсуждались на различных научных конференциях в период с 2021 по 2024 год, проходивших в городах Ростов-на-Дону, Знаменск и Таганрог. Это позволяет сделать вывод о достаточной информированности специалистов о полученных научных результатах и о высокой степени их апробации.

При использовании в тексте диссертации и публикациях результатов и материалов других авторов были сделаны корректные библиографические ссылки на соответствующие первоисточники.

Таким образом, можно заключить, что диссертационная работа соответствует требованиям пунктов 11–14 «Положения о присуждении учёных степеней».

Замечания по диссертации

Замечания по сути исследования:

1. Не указано, как выполняется коррекция оценки параметров движения препятствий с учетом динамики движения мобильного робота;
2. На стр. 56 диссертации говорится: «В предположении о нормальном законе распределения ошибок измерения расстояний характер погрешностей оценки вектора движения также будет иметь нормальный закон распределения...» — неясно, чем обосновано это допущение. Например, в малой беспилотной авиации часто используется *равномерный* закон распределения (гауссовский шум) для моделирования погрешностей бортовых измерителей;
3. Не указан критерий начала объезда препятствия, ведь изменение траектории движения при обнаружении препятствия на пути следования не всегда целесообразно;
4. Не рассмотрена верифицируемость системы нейросетевого планирования траектории (**Верификация — подтверждение (на основе представления**

объективных свидетельств) того, что заданные требования полностью выполнены). Возникает вопрос: можно ли быть уверенным, что в заданных условиях предложенное соискателем *нейросетевое решение* не приведёт к столкновению с препятствием?

5. Не согласен с тем, что задачей имитационного моделирования является «генерация траектории движения мобильного робота к целевой точке с учётом известных параметров препятствий и их расположения» (стр. 126 диссертации). Генерация траектории выполняется системой управления на основе текущей оценки параметров движения МР и заданной целевой точки (при этом, например, нейросетевое решение может изменять эти параметры таким образом, чтобы избежать столкновений). Имитационная модель может лишь варьировать начальные координаты МР, координаты целевой точки и другие параметры окружения. Выбор траектории (включая скорость и направление) должен выполняться системой управления в режиме реального (или модельного в случае имитационного моделирования) времени. При этом для системы управления не должно иметь значения, где она исполняется — на целевом устройстве или в виртуальной среде.

Технические замечания:

- Не указано явно, какое максимальное количество подвижных и неподвижных объектов способна обрабатывать предложенная система с учётом ограничений вычислительных ресурсов бортового оборудования в режиме реального времени;
- В области встраиваемых систем, к которым относятся мобильные роботы, критически важным параметром является максимальное время выполнения алгоритма, поскольку его превышение может привести к аварии, столкновению или другим негативным последствиям. По этой причине считаю необходимым отметить следующие недостатки:
 - Отсутствие профилирования производительности предложенного алгоритма оценки параметров движения препятствий и мобильного робота;
 - Отсутствие профилирования производительности предложенного нейросетевого решения.

- По тексту диссертации не всегда очевидно, где заканчивается анализ существующих методов и начинается описание предложенного автором подхода;
- Не указано численное значение интервала прогнозирования вероятности столкновения с препятствием;
- На стр. 125 диссертации говорится: «Разработан метод имитационного моделирования траекторного движения мобильного робота в среде с подвижными и неподвижными препятствиями, выполняющий прогнозирование возможных столкновений и использование нейронной сети для определения точки объезда и параметров объезда с целью избежания столкновения». Возможно, точнее было бы написать: *«Выполнена программная реализация алгоритма движения по траектории и его апробация в условиях наличия статических и динамических препятствий с использованием разработанной имитационной модели»*.

Однако указанные замечания не снижают ценность полученных результатов. Диссертационная работа выполнена на актуальную тему, содержит новые научные результаты и представляет интерес как для теории, так и для практики планирования движения мобильных роботов в среде с динамическими препятствиями.

Анализ автореферата диссертации

Автореферат соответствует содержанию диссертационного исследования и дает представление о проделанной соискателем работы и полученных результатах.

Выводы

Диссертационная работа Алхалили Алак Сабах Бадри выполнена на актуальную тему, отличается научной новизной, теоретической и практической

значимостью, прикладной ценностью полученных результатов, выполнена лично соискателем и имеет завершённый характер.

Автором сформулирована и решена актуальная научная задача, имеющая важное значение для развития систем управления мобильными роботами в стохастических условиях.

Диссертация соответствует требованиям п.п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении учёных степеней», а ее автор Алхалили А.С.Б. заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.4. «Роботы, мехатроника и робототехнические системы» (технические науки).

Даю согласие на обработку своих персональных данных.

Кандидат технических наук

Исаев Михаил Александрович*

*Кандидат технических наук. Кандидатская диссертация защищена по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика». Руководитель группы разработки программного обеспечения беспилотных летательных аппаратов ООО «Стилсофт». Адрес: Россия, 355042, г. Ставрополь, ул. Васильковая, 29, а/я 12. Телефон: +7-988-745-19-31. E-mail: «mrraptor26@gmail.com».

Подпись Исаева М.А. заверяю

Генеральный директор
ООО «Стилсофт»

05.06.2025



Стоянов Ю.П.

с отзывом ознакомлена

11-06-2025

« 10 »	Вх. № 05-65-51
ЛИСТОВ	« 10 » 06 2025 г.
Информ. ИТУ	