

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.288.12 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АВИАЦИОННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 21.10.2020 № 9

О присуждении Юдинцеву Богдану Сергеевичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Нейросетевая система планирования траекторий для группы мобильных роботов» по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (информационные и технические системы) принята к защите 19.08.2020 г., протокол № 4 диссертационным советом Д 212.288.12 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12, созданного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 43/нк от 30.01.2019 г.

Соискатель Юдинцев Богдан Сергеевич 1986 года рождения, работает младшим научным сотрудником в Центре коллективного пользования научным и технологическим оборудованием «НАНОТЕХ» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет».

В 2009 году соискатель окончил ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет».

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Даринцев Олег Владимирович, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», профессор кафедры автоматизации технологических процессов.

Официальные оппоненты:

1. Мещеряков Роман Валерьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией № 80, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, г. Москва;

2. Собольников Сергей Александрович, кандидат технических наук, начальник лаборатории Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова», г. Москва,
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва, в своем положительном заключении, утвержденном Коробцом Борисом Николаевичем, доктором технических наук, первым проректором – проректором по научной работе и стратегическому развитию, указала, что диссертационная работа Юдинцева Богдана Сергеевича, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научной

квалификационной работой, которая выполнена на актуальную тему, предложенные в ходе исследования новые алгоритмы и методики решают поставленную задачу повышения эффективности работы системы планирования траекторий на базе сети Хопфилда для группы мобильных роботов, действующих в двумерном рабочем пространстве с препятствиями. Таким образом, работа имеет теоретическое и практическое значение в области группового управления автономными мобильными роботами.

Основные результаты работы достаточно подробно отражены в публикациях автора.

Диссертация соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Юдинцев Богдан Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (информационные и технические системы)».

Соискатель имеет 19 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 19 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 4, опубликованных в изданиях, индексируемых в международной базе Scopus – 1 и 2 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Основные научные и практические результаты докладывались на 8-ми международных и всероссийских научных конференциях. Основные результаты, представленные в публикациях, были получены соискателем в ходе научно-исследовательской работы в Программах №15 ОЭММиПУ РАН «Управление движением, теория сложных информационно-управляющих систем», №1 ОЭММиПУ РАН «Научные основы робототехники и мехатроники», № I.31П Президиума РАН «Фундаментальные основы технологий двойного назначения в интересах национальной безопасности. Фундаментальные исследования процессов горения и взрыва. Актуальные проблемы робототехники», а также в рамках гранта РФФИ № 16-29-04165-офи_м «Развитие теоретического базиса, синтез и отладка программно-аппаратного распределенного комплекса для универсальных мобильных робототехнических платформ коллективного использования». Все работы выполнены при непосредственном участии соискателя.

Наиболее значимые работы, опубликованные в рецензируемых научных изданиях и изданиях, индексируемых в международной базе Scopus:

1. Юдинцев Б.С. Интеллектуальная система планирования траекторий мобильных роботов, построенная на сети Хопфилда / Б.С. Юдинцев, О.В. Даринцев // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4. – С. 1-11.
2. Юдинцев Б.С. Модификация нейросетевой системы планирования траектории: методики и результаты / Б.С. Юдинцев, О.В. Даринцев // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11. – С. 2630-2635.
3. Юдинцев Б.С. Технологии расширенной и виртуальной реальности как средства компенсации информационной недостаточности микророботов / А.Ю. Алексеев, Б.С. Юдинцев, О.В. Даринцев // Мехатроника, Автоматизация, Управление. – 2015. – № 6. – С. 2630-2635.
4. Юдинцев Б.С. Синтез нейросетевой системы планирования траекторий для группы мобильных роботов / Б.С. Юдинцев // Системы управления, связи и безопасности. – 2019. – № 4. – С. 163-186.
5. Yudintsev B.S., Alekseev A.Yu., Bogdanov D.R., Migranov A.B., Darintsev O. V. Methods of a Heterogeneous Multi-agent Robotic System Group Control // Proceedings of the 13th International Symposium “Intelligent Systems 2018” (INTELS’18). – St. Petersburg, 2019. – С. 687-694. doi: 10.1016/j.procs.2019.02.032.

На диссертацию и автореферат поступили **положительные** отзывы:

– **ведущей организации**, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва, в отзыве указаны следующие замечания:

1) в работе не показано, каким образом получена исходная «нейронная карта» местности. Очевидно, что она не может быть получена информационными средствами этой группы роботов. Если же она известна заранее, то следовало бы указать, каким образом определяются изменения, возникающие в процессе движения группы;

2) не определена постановка задачи для группы роботов и не рассмотрены вопросы распределения задач между отдельными мобильными роботами-исполнителями, ведущим роботом и постом управления;

3) определенным ограничением является и рассмотрение двумерного рабочего пространства, поскольку в реальной обстановке вопрос о преодолении препятствий требует и учета его высоты;

– **официального оппонента**, доктора технических наук, профессора РАН, Мещерякова Романа Валерьевича, в отзыве указаны следующие замечания:

1) в главе I диссертации, при проведении обзора существующих решений (п. 1.1.1) в области группового управления в мобильной робототехнике автором очень много внимания уделено достаточно старым и известным примерам РТС (например, Scout), в то время, как более современные решения исследованы куда менее подробно;

2) в главе I диссертации в п. 1.2.3 автором проводится сравнительный анализ интеллектуальных алгоритмов построения траектории, при этом в качестве нейросетевого подхода представлен только алгоритм, который используется в диссертационной работе. Данный подход является единственным среди нейросетевых алгоритмов поиска? Почему не представлены аналоги?

3) в п. 1.3.2 главы I приводится общая информация по сети Хопфилда: математическое представление процесса активации и условия сходимости. Уместна ли в главе I данная информация в столь развернутом виде? Возможно, стоило бы перенести данный пункт в главу III, представив основные формулы с ссылкой на источник и совместить данную часть с п.3.1, где приводится математическая модель используемой НС Хопфилда;

4) в главе III в п. 3.4.5, посвященном оптимизации функции активации НС Хопфилда, автором указано, что при замене функции гиперболического тангенса на линейную с насыщением «...делает процесс активации сети более стабильным. Данный эффект позволяет в отдельных случаях... исключить риски возникновения локальных максимумов», при этом приведен пример данного эффекта только для сети с 900 нейронами. Каковы ограничения новой функции активации? Появятся ли локальные максимумы при активации, например, 10000 нейронов?

5) как будет работать алгоритм в условиях больших рабочих пространств, где потребовалось бы создание нескольких связанных карт, например, при решении задачи SLAM?

б) на данный момент очень активно развивается сегмент робототехники – БПЛА, при этом в работе только в заключительной части главы IV упоминается о перспективах применения предложенного в работе алгоритма группового управления в трехмерном рабочем пространстве;

– **официального оппонента**, кандидата технических наук, Соболяникова Сергея Александровича, в отзыве указаны следующие замечания:

1) автор не вполне корректно использует название НС Хопфилда для обозначения топологии используемой в диссертации НС, поскольку сеть Хопфилда является по определению

полносвязной, а сеть, представленная в диссертации, использует только связи «соседних» нейронов;

2) На странице 56 указано на связь сходимости сети с функцией активации, однако при определении сходимости (п. 3.2.2) влияние функции активации не исследовано. При реализации НС в виде программы, вводится коэффициент усиления (стр. 114), и не показано как это влияет на сходимость алгоритма;

3) целесообразно было бы рассмотреть способ стабильного преодоления локальных минимумов поверхности планирования, поскольку их присутствие не гарантирует достижение целевых позиций роботами, что может быть критично важно при практическом применении в ряде ответственных случаев;

4) в тексте диссертации часто упоминается, что представленный алгоритм генерирует «близкие к оптимальным траектории», в этой связи было бы целесообразно оценить эту близость, сравнив результаты с планировщиком, генерирующим оптимальные с точки зрения выбранного критерия траектории (например, алгоритм Дейкстры);

5) в диссертации неоднократно упоминается о важности сокращения вычислительного времени планирования и приводятся алгоритмические способы его сокращения, однако в практической реализации используется язык Python, использующий динамическую компиляцию, что увеличивает время выполнения разработанной программы;

6) архитектура предложенной системы потенциально позволяет осуществлять обход подвижных препятствий (не только роботов из той же группы), было бы целесообразно подтвердить этот факт при проведении экспериментальных исследований;

– получено 5 положительных отзывов на автореферат:

1. ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», подписанный старшим научным сотрудником, к.т.н. **Савельевым Антоном Игоревичем**. В отзыве указаны следующие замечания:

1) в автореферате на стр. 9-10 показаны три предполагаемых модификации нейросети, позволившие повысить ее производительность. И, если для первых двух модификаций приведены количественные показатели, по которым можно судить об эффективности принятых мер, то для экономии вычислительных ресурсов эти данные не показаны;

2) в таблице 1 (стр. 13) приведены выходные данные по генерации траекторий, показанных на рис. 6 и говорится об корректности полученного результата. Какой критерий (показатель) рассчитывался для подтверждения этого вывода, с каким другим методом проводилось сравнение в автореферате не указано.

2. ФГБУН Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук, подписанный заместителем директора по научной работе, д.т.н., профессором РАН **Ермоловым Иваном Леонидовичем**. В отзыве указаны следующие замечания:

1) в автореферате в разделе, посвященном экспериментальному исследованию, не указано, какой процент бортовых вычислительных мощностей был использован на выполнение задачи планирования траектории движения мобильных роботов;

2) при предотвращении столкновения робота с подвижным препятствием целесообразно ввести допущения на скорость движения такого препятствия относительно скорости самого робота.

3. Автономная некоммерческая организация высшего образования «Университет Иннополис», подписанный заместителем руководителя Центра технологий компонентов

робототехники и мехатроники, д.ф.-м.н., профессором лаборатории автономных транспортных систем **Малолетовым Александром Васильевичем**. В отзыве указаны следующие замечания:

1) из текста автореферата не ясно учитывает ли автор возможность сходимости сетей Хопфилда к ложным аттракторам?

2) из текста автореферата не ясно знаком ли автор с концепцией клеточных нейронных сетей?

3) Следует отметить также несколько технических недочетов автореферата. Например: опечатку в формуле на странице 5 – должно быть C вместо S ; отсутствие единиц измерения скорости в таблице 1.

4. ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», подписанный заведующим кафедрой «Теоретическая механика», д.ф.-м.н., профессором **Брискиным Евгением Самуиловичем** и доцентом кафедры «Теоретическая механика», к.т.н. **Шароновым Николаем Геннадьевичем**. В отзыве указаны следующие замечания:

1) в работе среди требований к агентам обозначена «миниатюризация», однако, из автореферата не ясна связь полученных результатов с размерами робота;

2) не ясно, как количественно оценивается информационная недостаточность.

5. ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», подписанный заведующим кафедрой автоматических систем, д.т.н. профессором **Асановым Асхатом Замиловичем**. В отзыве указаны следующие замечания:

1) как количественно можно оценить влияние назначенных приоритетов для роботов, так как на стр. 11 автореферата говорится о «эффективном разрешении конфликтных ситуаций, а также сокращении общего времени решения задачи»;

2) в тексте нет описания структуры вектора состояния НС (рис. 3 на стр. 11), который поступает на вход конструктора пути.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их достижениями в данной отрасли наук, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации. Официальный оппонент Мещеряков Роман Валерьевич доктор технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации, основные работы посвящены проблемам обработки информации в интеллектуальных системах и информационной безопасности в технических системах. Официальный оппонент Собольников Сергей Александрович кандидат технических наук по специальности 05.13.01, работы посвящены решению транспортной задачи для группы мобильных роботов. Ведущая организация ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва является одним из ведущих высших учебных заведений, где проводятся научно-исследовательские и конструкторские работы в области робототехники и мехатроники.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны методическое и программно-аппаратное обеспечение системы планирования траекторий для группы мобильных роботов (МР) на базе нейронной сети (НС) Хопфилда с учетом специфики используемой модели группового управления; архитектура и алгоритмы работы системы планирования, учитывающие особенности перемещения агента группы МР в условиях динамически меняющегося рабочего пространства и неполноты информации; методика синтеза системы планирования траекторий для группы МР на основе

алгоритмов работы бортовых систем планирования траекторий для агентов группы МР; программно-аппаратный комплекс полунатурного стенда, позволяющий автоматизировать проводившиеся натурные/полунатурные эксперименты с различными типами систем планирования и использовавшийся при выполнении исследовательской работы по гранту РФФИ № 16-29-04165-офи_м на кафедре АТП ФГБОУ ВО УГАТУ и в Институте механики им. Р.Р. Мавлютова УФИЦ РАН, что подтверждено соответствующими актами о внедрении;

определены перспективы применения разработанной системы планирования в рамках мультиагентной модели группового управления;

созданы система практических рекомендаций для реализации предложенной системы планирования на базе НС Хопфилда с учетом различных моделей группового управления; аппаратно-программный комплекс полунатурного стенда, реализующий предложенный алгоритм планирования в рамках централизованной и мультиагентной моделей управления;

представлены методические рекомендации для применения предложенной системы планирования траекторий в условиях недетерминированной среды; методические рекомендации для реализации информационного обмена и алгоритмов разрешения конфликтных ситуаций между автономными агентами группы в рамках децентрализованной и мультиагентной моделей группового управления; предложено дальнейшее развитие системы планирования в рамках облачной модели системы управления группой.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на вычислительных машинах, базирующихся на сертифицированных процессорных архитектурах ARM и x86;

теория построена на положениях системного анализа, робототехники и группового управления, теории нейронных сетей, а также теории принятия решений;

идея предложений базируется на методе планирования траекторий на основе НС Хопфилда, впервые представленном в работе Lagoudakis M.G. Mobile Robot Local Navigation with a Polar Neural Map;

использованы методика синтеза НС Хопфилда с доменной топологией; экспериментальные данные (матрицы сигналов сети), полученные при активации сети при различной конфигурации рабочего пространства;

установлено, что предложенные автором модификации НС Хопфилда позволили сократить среднюю длительность одного цикла активации до 1,5–2,5 раз, а количество циклов, необходимых для формирования нейронной карты, уменьшилось в 1,3–3 раз (в зависимости от конфигурации рабочего пространства); полунатурные экспериментальные исследования подтверждают эффективность и корректность предложенного метода при планировании траекторий для группы МР;

использованы современные методы математического моделирования и оптимизации, методы объектно-ориентированного и многопоточного программирования, имитационного моделирования и машинной графики.

Личный вклад соискателя состоит в:

разработке модификаций формальной модели НС Хопфилда, а также алгоритмов активации сети; алгоритмов работы и архитектуры системы планирования, учитывающие особенности перемещения агента группы МР в условиях динамически меняющегося рабочего пространства и неполноты информации; методики синтеза системы планирования траекторий для группы МР, с учетом различных методов группового управления; аппаратно-программного комплекса для специализированного полунатурного экспериментального стенда; **лично**

участии соискателя в обработке экспериментальных данных, полученных с помощью компьютерного моделирования и специализированного полунатурного экспериментального стенда; апробация результатов исследования; **непосредственном участии** соискателя в сборе и обработке исходных данных для проведения расчетов и экспериментальных исследований; **подготовке** основных публикаций по выполненной работе.

Диссертация Юдинцева Б.С. является законченной научно-квалификационной работой, в которой решены задачи по повышению эффективности работы системы планирования траекторий, построенной на базе НС Хопфилда, а также разработана нейросетевая система планирования траекторий для группы МР, действующей в двумерном рабочем пространстве с препятствиями.

На заседании 21.10.2020 г. диссертационный совет принял решение присудить Юдинцеву Б.С. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 21 человека, из них 10 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 21, против – 0, воздержалось – 0.

Председатель
диссертационного совета



Юсупова Нафиса Исламовна

Ученый секретарь
диссертационного совета

Сметанина Ольга Николаевна

21 октября 2020 года