

## О Т З Ы В

официального оппонента, доктора физико-математических наук

**ЧУЛИЧКОВА Алексея Ивановича**

на диссертационную работу Швеца Евгения Александровича **«Разработка моделей картирования и патрулирования коллективом беспилотных наземных роботов, использующих техническое зрение и эхолокацию»**,

представленную на соискание ученой степени

кандидата технических наук

по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

1. **Актуальность темы.** Диссертационная работа Е.А. Швеца посвящена разработке и исследованию методов, алгоритмов и программного обеспечения для решения задач управления коллективом роботов в условиях, когда исследуемая ими территория может изменяться в процессе их движения. Актуальность разработки методов и алгоритмов исследования территории роботами-автоматами не вызывает сомнения: такие роботы смогли бы заменить человека в условиях, опасных для жизни и здоровья человека, освободить его от рутинной деятельности и т.п. Имеются разработки; позволяющие осуществлять исследование территории одним роботом, однако использование нескольких роботов может существенно ускорить исследование, а также повысить точность его результата. Однако задача картирования территория несколькими роботами, задача составления оптимальных траекторий их движения, отслеживание изменений исследуемой территории и другие, рассмотренные в диссертации, существенно сложнее, чем аналогичные задачи, решаемые одним роботом. Кроме того, для успешного решения перечисленных задач необходимо также разработать алгоритмы обмена и эффективной обработки информации, собираемой

коллективом роботов. Все эти задачи решаются в диссертации Е.А.Швеца, что обеспечивает ее актуальность.

## **2. Новизна проведенных исследований и полученных результатов**

Диссертационное исследование Е.А.Швеца относится к области математического моделирования информационных робототехнических систем и содержит ряд новых результатов.

В диссертации в едином подходе ставятся и решаются задачи коллективного патрулирования и картирования меняющейся территории, обеспечения длительного функционирования системы при ограниченном объеме памяти роботов в условиях возможных изменений территории.

Разработана модель сжатия, анализа и обмена поступающей с сенсоров информации, позволяющая использовать существующие методы локализации и картирования для исследования изменяющейся территории коллективом роботов.

Предложен и исследован метод картографирования, использующий прямую модель сонара (подбор карты, наиболее адекватной полученным данным сонара); показано, что метод позволяет решать задачу картирования в режиме реального времени.

Разработана и исследована новая математическая модель движения роботов, основанная на методе потенциалов, на ее основе создан алгоритм патрулирования. Модель позволяет обеспечить автономное движение роботов без обмена планами о будущем движении, что позволяет сделать движение патрулирующих роботов непредсказуемым для стороннего наблюдателя.

## **3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

В диссертационной работе Е.А.Швеца создана среда имитационного моделирования совместного поведения группы беспилотных аппаратов; среда использована для работ по гранту РФФИ. С помощью этой среды были многократно протестированы математические модели, алгоритмы и

программное обеспечение комплекса роботов, решающие задачи патрулирования. Методы и алгоритмы ассоциирования данных, а также построения карт проходимости были протестированы на реальных и модельных данных.

Алгоритм построения карты проходимости успешно внедрен в проекте “Стая”. Акты о внедрении приведены в приложении к тексту диссертации.

Созданные в диссертации методы и алгоритмы обработки, обмена и хранения данных построены на основе анализе и обобщении опыта опубликованных работ других авторов. Автором изучены и проанализированы математические модели и методы получения цифровых данных роботами на основе показаний сенсоров, методы картирования территории, алгоритмы патрулирования и критерии их эффективности, методы и алгоритмы построения карт проходимости - список использованной литературы содержит 143 наименования.

**4. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.** Полученные результаты и выводы диссертации рекомендуется использовать для разработки программного обеспечения коллектива роботов для исследования изменяющихся территорий.

**5. Оценка содержания диссертации, её завершенность.** В первой главе на основе анализа источников рассматриваются общие подходы к решению задачи одновременной локализации и картирования, описаны существующие алгоритмы патрулирования, область их применимости, используемые критерии эффективности патрулирования, дан обзор существующих методов построения карты проходимости на основе показаний сонаров, описаны достоинства и недостатки этих методов.

Во второй главе описывается архитектура хранения, обработки и обмена информации коллективом роботов с ограниченным объемом памяти, осуществляющих длительное картирование меняющейся местности.

В третьей главе автор предлагает, исследует и тестирует полностью распределенный стохастический алгоритм патрулирования на основе метода потенциалов. Для тестирования алгоритма в диссертации создана система имитационного моделирования. Приводятся оптимальные параметры алгоритма, приведены рекомендации его применения при разных видах патрулируемой территории

Четвёртая глава посвящена описанию методов построения карты проходимости в режиме реального времени. Разработано программное обеспечение для имитационного моделирования показаний сонаров на основе карт проходимости и система тестирования алгоритмов построения карт проходимости. Показаны преимущества разработанных методов по сравнению с известными.

Таким образом, выполненная работа является целостной, завершённой, имеет теоретическую и практическую значимость.

## **6. Замечания по диссертационной работе в целом.**

1. В главе 2 диссертационной работы при описании архитектуры хранения данных считается, что известны начальные характеристики территории, однако на практике роботам часто приходится исследовать неизвестную территорию. В работе не указано, как следует начинать работу в этом случае.
2. Неудачным выглядит термин «туман войны» - не понятна его связь со значением времени, прошедшего с момента последнего наблюдения за точкой территории каким-либо из роботов.
3. При описании модели сенсора на страницах 35 и 38 не описаны обозначения в формулах, на странице, по-видимому, 35 потерян знак логарифма.
4. В диссертационной работе имеется ряд опечаток и небрежностей – опечатка на стр. 10, 20, 22 и др., не указаны единицы измерения на

стр. 12, используются жаргонные выражения («матожидание» вместо математического ожидания, стр. 20) и др.

Однако отмеченные недостатки не носят принципиального характера и не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

## **7. Соответствие диссертации и автореферата требованиям ВАК**

Диссертационная работа Е.А.Швеца представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальной задачи разработки методов картирования и патрулирования изменяющейся территории коллективом роботов, имеющей существенное значение для соответствующей отрасли знаний, а именно математического моделирования информационных робототехнических систем, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней».

Результаты, представленные в диссертации и опубликованных статьях, позволяют судить об авторе как о высококвалифицированном исследователе, который способен ставить и решать задачи в области математического моделирования и численных методов, владеющим соответствующим математическим аппаратом и знаниями в области программной инженерии.

Полученные автором результаты имеют теоретическую и практическую ценность и могут быть использованы для создания и исследования систем автономных роботов, исследующих изменяющуюся территорию.

Основные результаты диссертации изложены в двух публикациях в рецензируемых журналах, входящих в перечень журналов, рекомендованных ВАК, доложены на международных конференциях по тематике диссертационной работы и опубликованы в трудах этих конференций, индексируемых Web of Science. Опубликованные работы достаточно полно отражают содержащиеся в диссертации научные результаты.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Е.А.Швеца «Разработка моделей картирования и патрулирования коллективом беспилотных наземных роботов»;

использующих техническое зрение и эхолокацию» полностью удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям, на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а ее автор, Швец Евгений Александрович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент  
профессор кафедры математического  
моделирования и информатики  
физического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова,  
доктор физико-математических наук, профессор  
E-mail: achulichkov@gmail.com  
Тел.: +7 (903) 570-75-50



Чуличков Алексей Иванович

30.11.2016

Подпись д.-ф.м.н., проф. Чуличкова А.И. удостоверяю.  
Декан физического факультета  
МГУ им. М.В.Ломоносова,  
профессор



Н.Н.Сысоев