

## **ОТЗЫВ** **официального оппонента**

кандидата технических наук, главного конструктора по экстремальной робототехнике и автоматизации Даляева Игоря Юрьевича на диссертационную работу Крестовникова Константина Дмитриевича «Алгоритмы и программная система управления группой наземных роботов с перераспределением энергетических ресурсов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5 — «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей»

### **1. Актуальность темы диссертации**

Развитие методов группового управления роботами позволяет увеличить разнообразие доступных к выполнению роботами задач, что особо актуально в экстремальных условиях работы, например, при освоении Луны. В большинстве случаев речь идет про разнородную группу роботов, которые выполняют совместно различные задачи для общего целеполагания. В случае использования группы автономных роботов для совместного выполнения ими целевых задач возникает необходимость реализации их согласованного поведения и целенаправленного взаимодействия в сложных, мало изученных и плохо прогнозируемых условиях. Подобные задачи в настоящее время решаются при разработке мультиагентных информационных систем. В данных случаях энергетических ресурсов одного робота будет недостаточно для полноценной реализации поставленной миссии, и даже группе роботов потребуется постоянное пополнение энергии. Использование в современных автономных роботах в качестве источника питания аккумуляторной батареи, позволяет реализовать процессы обмена энергией между роботами посредством специализированных аппаратных решений. Целью данной диссертационной работы является разработка моделей, алгоритмов и программных средств для управления группой роботов с перераспределением энергетических ресурсов внутри группы при выполнении целевых задач. При ограниченном максимальном запасе энергии единичного робота перераспределение ресурсов в группе позволяет расширить функциональные возможности такой системы и выполнять более широкий круг целевых задач. В связи с этим, вопросы обеспечения перераспределения ресурсов и их эффективной передачи между роботами являются весьма актуальными и представляют научный и практический интерес.

## **2. Научная новизна проведенных исследований**

Научная новизна диссертационной работы, в первую очередь, заключается в предложенной математической модели управления группой наземных роботов с перераспределением энергетических ресурсов. Предложенная модель учитывает энергетические параметры роботов и целевых задач. Разработанный комплекс алгоритмов, реализующий предлагаемый подход к функционированию группы роботов обеспечивает реализацию управляющих воздействий, представляющих собой миссии роботов, посредством предварительного планирования на каждом шаге управления. Такой принцип позволяет устойчиво функционировать группе, в условиях, когда конечное время выполнения миссии и ее промежуточных этапов не известно. Для реализации модельно-алгоритмического обеспечения разработана архитектура программной системы обеспечивающая функционирование группы с перераспределением энергетических ресурсов.

## **3. Достоверность и обоснованность результатов**

Высокая степень достоверности и обоснованность научных положений, выводов и результатов обеспечена обширным анализом текущего уровня исследований в данной области, корректным использованием апробированного математического аппарата, согласованностью теоретических выводов с результатами моделирования и экспериментов и одобрением основных положений диссертационной работы на российских и международных научных конференциях.

## **4. Апробация и реализация результатов.**

Разработанные модель и алгоритмы группового управления роботами с перераспределением энергетических ресурсов были реализованы в виде программно-аппаратного обеспечения, использованы рядом коммерческих и государственных организаций, а также внедрены в образовательном процессе, что подтверждают соответствующие акты внедрения. Исследования, отражённые в диссертации, проведены в рамках 2 научно-исследовательских проектов: 1) грант РФФИ №19-08-01215А «Теоретические основы двунаправленной беспроводной передачи энергии и алгоритмы построения автоматического перераспределения энергоресурсов в группе роботов»; 2) грант Президента РФ МК-3094.2022.1.6

«Подход к позиционированию подводного автономного аппарата для получения беспроводной электрической энергии от зарядной станции надводного аппарата». На предложенные технические решения получено два патента на изобретение и четыре свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. Основные положения диссертационной работы представлялись на международных и российских конференциях. По научным результатам диссертационного исследования опубликовано 18 работ, в том числе 10 публикаций в журналах из «Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук», две статьи в указанном перечне опубликованы без соавторов.

### **5. Значимость для науки и практики**

**Теоретическая значимость работы** заключается в решении актуальной фундаментальной проблемы ограниченных ресурсов отдельных роботов в группе. В диссертационной работе решена научная задача разработки математического, алгоритмического и аппаратного обеспечения управления группой наземных роботов с реализацией процесса перераспределения энергетических ресурсов на при выполнении общих целевых задач на маршрутах движения роботов. Решенная задача имеет важное значение для совершенствования способов и технических средств группового управления роботами наземного и других сред базирования.

**Практическая значимость работы** состоит в расширении функциональных возможностей группы роботов, выполняющей задачи в экстремальных условиях. Разработанные решения позволяют снизить затраты времени на выполнение целевых задач, расширить территорию функционирования группы, а также использовать роботов для выполнения более энергоемких задач.

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

По диссертации могут быть высказаны следующие замечания:

1. В диссертационной работе приводится много спорных и необоснованных заявлений, которые влияют на выбор итоговых способов передачи энергии, но не являются очевидными, например:

- «Осуществить передачу электрической энергии между роботами можно с помощью контактных методов, но в этом случае как правило требуется высокая точность позиционирования, что усложняет сенсорную систему робота». Это не всегда так, к тому же, для выполнения общих задач в экстремальных условиях различных сред базирования робота и так обладают развитой сенсорной системой, а целевая задача роботов-заряжающих и состоит в том, чтобы зарядить робота-рабочего.

- «снижение общего времени и расширение территории функционирования группы роботов, выполняющих задачи на открытой местности с переменным рельефом посредством перераспределения энергетических ресурсов внутри группы с применением системы беспроводной передачи энергии». Применение беспроводной передачи энергии никак не влияет на снижение общего времени и расширение территории функционирования. Исходя из результатов исследования на это влияет только сама возможность перераспределения ресурсов среди группы робота, а каким именно образом уже не столь важно.

- «Первые этапы развития робототехники не предполагали активного физического или энергетического взаимодействия между робототехническими единицами, что в принципе исключало задачу сохранения и перераспределения ресурсов внутри самой робототехнической системы». Сохранение ресурсов внутри РТС всегда было важным фактом проектирования и функционирования.

- По тексту разделов 1.1 и 1.2 много качественного сравнения, но нет количественного. «Значительных и неоправданных с практической точки зрения затрат времени» - это сколько? Не совсем понятно, в чем заключается анализ тогда.

- «Разъемы с фиксацией подразумевают участие человека в его подключении в связи с чем их применение не актуально для задач перераспределения ресурсов в группе». При взаимодействии роботов зачастую используются быстроразъемные соединения или захватные устройства с ответными такелажными элементами, в добавок

применение системы технического зрения может полностью автоматизировать процесс взаимодействия роботов в группе.

- «Данные способы зачастую требуют вмешательства человека в процесс эксплуатации робототехнической системы, что накладывает некоторые ограничения. Если робот эксплуатируется в агрессивной среде или на открытом воздухе, то требуется применение дополнительных мер по защите разъемов и контактных пар от загрязнения и попадания влаги. Применение контактных методов как правило требует высокой точности позиционирования, что усложняет сенсорную систему робота». Совершенно необоснованные доводы, которые мешают в единую позицию неверное восприятие сложности технической реализации (ранее нигде не рассмотренную) и усложнение РТС в части сенсорной системы, также не имеющее какого-либо обоснования.
2. Описание научной новизны идет как в реферате на патент, «отличающийся тем...», только от чего отличающийся – не ясно. В патентах есть ближайший аналог, в рамках исследования его четко не выделяется.
  3. В диссертационной работе каким-то странным образом сводятся конкретные технические параметры роботов (в части той же БСПЭ) и неконкретные параметры по требованиям назначения. Отчасти необоснован выбор способов передачи. В анализе не приводятся конкретные параметры систем и значений, только качественные (больше, лучше, быстрее). При этом потенциальные массо-габаритные размеры тех же БСПЭ могут быть не применимы с практической точки зрения.
  4. В тексте часто говорится про эффективное выполнение целевых задач роботами-рабочими, однако критериев эффективности четко не приводится. Можно только догадываться что речь идет про время достижения всех целей.

## 7. Заключение

Отмеченные замечания не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертационной работы, не снижают ее научной и практической

значимости. Диссертация является законченной научной квалификационной работой, в которой решена важная научно-техническая задача расширения территории функционирования и снижения затрат времени на выполнение целевых задач группой роботов. Разработан новый комплекс алгоритмов, обеспечивающий управление группой роботов с перераспределением энергетических ресурсов, и программно-аппаратное обеспечение для реализации предлагаемого подхода. Представлена практическая реализация предложенных моделей и алгоритмов в программной системе. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа «Алгоритмы и программная система управления группой наземных роботов с перераспределением энергетических ресурсов», удовлетворяет требованиям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель Крестовников Константин Дмитриевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей».

Официальный оппонент

Кандидат технических наук, главный конструктор по экстремальной робототехнике и автоматизации Центрального научно-исследовательского и опытно-конструкторского института робототехники и технической кибернетики (ЦНИИ РТК)

14.03.2024

И.Ю. Даляев

Подпись руки И.Ю. Даляева заверяю  
Ученый секретарь ЦНИИ РТК, к.т.н.

Б.А. Спасский

Почтовый адрес: 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., 21.  
Тел.: +7(812)552-60-93.