

Отзыв научного руководителя на диссертацию

Коновалова Петра Алексеевича

«Алгоритмы управления группой мобильных роботов в условиях дефицита информации о сцене», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»

Диссертационное исследование Коновалова Петра Алексеевича относится к актуальному направлению современной робототехники: разработке и строгому обоснованию распределённых алгоритмов управления однородными роями мобильных роботов, обеспечивающих их саморазвёртывание с целью покрытия территорий и протяжённых объектов в условиях дефицита информации о сцене и локальности сенсорных данных, отсутствия средств связи и доступа к системам позиционирования. Парадигма распределённого управления роями активно выдвигается на ключевые позиции применительно к неуклонно расширяющемуся спектру приложений; среди них задачи роботизированного покрытия для мониторинга обширных территорий, проведения поисково-спасательных операций и экологического контроля, патрулирования и выполнения оборонных миссий и др. Разработанные ранее подходы к управлению крупномасштабными группами роботов характеризуются целым рядом ограничений. Схемы, основанные на централизованном управлении, уязвимы перед ограничениями на коммуникацию и плохо масштабируются; типичные проблемы существующих алгоритмов децентрализованного управления связаны с дефицитом гарантий достижения результата и потребностью в сокращении объёма потребляемых ресурсов. Сформировался акцентированный запрос распределённых законов управления, предполагающих однородность ролей агентов в рое, жёстко ограниченные ресурсы (вычислительные, коммуникационные, сенсорные и др.) и доказательные гарантии нелокальной сходимости, безопасности (отсутствие столкновений) и информационной связности.

Соискателю учёной степени была поставлена задача исследования возможностей разработки подобных алгоритмов для управления роями мобильных роботов в миссиях по автономному покрытию областей и протяжённых объектов. В ходе её решения П.А. Коновалов разработал, включая строгое теоретическое обоснование и апробацию методами компьютерного и в отдельных случаях натурного эксперимента, целый ряд новых алгоритмов. Они касаются актуальных постановок задач заматающего и статического покрытия одномерных и двумерных областей с равномерным самораспределением по ним, для которых ранее был ощутим дефицит исследований в плане алгоритмической проработки.

Ключевым компонентом научной новизны является синтез и анализ распределённых протоколов управления, работающих в условиях ролевой однородности команды, анонимности её членов, жёстких ограничений на доступные вычислительные и коммуникационные ресурсы и предоставляющих интегральные гарантии сходимости, отсутствия столкновений и информационной связности команды. Приоритетным достижением диссертации является обоснование возможности не только поддерживать, но и формировать указанную связность на основе вычислительно нетребовательных алгоритмов. Автором предложены и строго обоснованы новые распределённые законы управления роем роботов, обеспечивающие плотное заматающее покрытие неизвестных коридоро-подобных сцен. К другим достижениям относится разработка нелинейных протоколов для решения двух фундаментальных задач равномерного самораспределения однородной анонимной команды агентов на вещественной прямой (распределение с заданным шагом, распределение по заданному отрезку). Соискатель также разработал два новых алгоритма самораспределения роботизированных агентов по неизвестным сложным двумерным областям и обосновал их преимущества перед известными методами решения соответствующей задачи, используя интенсивное компьютерное моделирование. Важным достижением является обоснование возможности применения развиваемых в диссертации подходов к роботам со сложной нелинейной динамикой. С этой целью для роботов с динамикой второго порядка и согласованными неопределённостями разработан протокол, обеспечивающий решение представляющей значительный самостоятельный интерес задачи: формирование равномерной замкнутой цепи по

циклической выходной переменной и обеспечение заданного временного профиля скорости её изменения. Совокупность полученных в диссертации результатов существенно расширяет класс сценариев, для которых удаётся совместить вычислительную простоту алгоритма группового управления со строгими гарантиями сходимости, безопасности и информационной связности.

Теоретическая значимость работы состоит в развитии методов синтеза распределённых законов управления однородными роями мобильных роботов в условиях ограниченных ресурсов и разработке методологии исследования и анализа таких алгоритмов, включая доказательные гарантии достижения требуемого результата, для ряда распространённых кинематических и динамических моделей, включая ситуацию первоначального отсутствия информационной связности. Практическая значимость определена применимостью полученных результатов и разработанных алгоритмов при решении разнообразных задач в области мультиагентной робототехники. К их примерам относятся задачи роботизированного мониторинга и инспекции, поисково-спасательные операции, миссии по обеспечению безопасности и др. Работоспособность предложенных алгоритмов подтверждена компьютерным моделированием, а для задачи заматающего покрытия коридора с препятствиями — также экспериментами на физических моделях.

В период работы над диссертацией П.А. Коновалов зарекомендовал себя инициативным, целеустремлённым и работоспособным исследователем, способным разбираться в сложных задачах и самостоятельно преодолевать возникающие трудности. Он показал хороший уровень владения математическим аппаратом и продемонстрировал высокий уровень навыков программирования.

Диссертационная работа П.А. Коновалова является цельным и подробным исследованием рассматриваемой тематики с проработанным литературным обзором и логично выстроенной последовательностью результатов: от постановок задач и синтеза законов управления до доказательств сходимости, численной апробации и экспериментальной проверки. Работа отличается высоким уровнем научной новизны, актуальностью и теоретической значимостью в области распределённого управления многоагентными системами. Основные результаты диссертации изложены в 12 печатных работах, из них 5 — статьи в рецензируемых научных журналах, индексируемых Scopus и Web of Science, и 7 — в трудах флагманских международных (с индексацией в Scopus) и российских конференций; результаты докладывались, в частности, на MED 2021, ECC 2021, ICCAS 2022, RCAE 2024 и CCRIS 2024. Полученные результаты имеют научную и прикладную ценность, соответствуют требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 2.3.1 — «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика», а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Научный руководитель,
доктор физико-математических наук, профессор
АНОО ВО «Научно-технологический университет «Сириус»

 / А. С. Матвеев /

«29» августа 2026 г.