

О Т З Ы В

официального оппонента

доктора технических наук, Колюбина Сергея Алексеевича на диссертационную работу Павлюка Никиты Андреевича «Модели, алгоритмы, программные средства информационного и физического взаимодействия устройств модульной робототехнической системы», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

Актуальность работы. На сегодняшний день представлено большое количество систем модульных реконфигурируемых роботов, которые обещают быть универсальными, надежными и недорогими по сравнению с другими традиционными роботизированными системами. Они могут превзойти традиционные системы с фиксированной морфологией при выполнении задач, требующих высокого уровня гибкости. Модульные реконфигурируемые системы роботов состоят из множества повторяющихся модулей (или единиц), которые можно переставлять или перестраивать в разные конфигурации в зависимости от задачи, которую робот должен решать в данный момент.

Предлагаемые в диссертации модели, алгоритмы и программные средства управления физическим соединением и информационным взаимодействием гомогенных модульных робототехнических устройств, а также их практическая реализация направлены на решение актуальной научно-технической задачи повышения степени автоматизации процесса реконфигурации модульных робототехнических систем, имеющей важное значение для развития модульной робототехники. В связи с этим диссертационное исследование Н.А. Павлюка, направленное на разработку моделей и алгоритмов управления соединениями и взаимодействия гомогенных модульных робототехнических устройств является своевременным и актуальным.

Основное содержание работы. В первой главе представлен аналитический обзор существующих модульных робототехнических систем и способов управления соединениями и взаимодействия отдельных модульных

робототехнических устройств (МРУ). Акцент сделан на два основных подхода к передвижению модульной робототехнической системы: на основе периодической реконфигурации с независимым передвижением разделенных модулей или на основе перемещения системы целиком, в том числе путем реализации движения ходьбы или ползания. Во второй главе описано разработанное модельно-алгоритмическое обеспечение модульной робототехнической системы, предложены концептуальная и теоретико-множественная модели управления конфигурированием модульной робототехнической системы. Также приведена формальная постановка задачи управления МРУ при формировании конфигураций модульных робототехнических систем (МРС), рассмотрен комплекс алгоритмов, задействованных при реализации соединения МРУ между собой. Представлен алгоритм построения конфигураций на основе данных о необходимом количестве МРУ, их координатах и ориентации каждого МРУ. Приведены алгоритмы поиска, оценивания состояния, выбора и соединения МРУ в области формирования конфигурации МРС. В третьей главе приведено модельное описание трех базовых конфигураций МРС, которые обеспечивают масштабируемость модульных робототехнических систем. В четвертой главе представлены результаты экспериментальной апробации разработанного модельно-алгоритмического и программного обеспечения. Приведены результаты симуляционного моделирования, описаны характеристики модели опытного прототипа МРУ, превосходящего аналоги по ряду характеристик, таких как: функциональность единичного робота, грузоподъемность, автономность и скорость передвижения. Также представлены результаты серии экспериментов с несколькими опытными прототипами.

Основные результаты работы. Теоретическую значимость работы определяют следующие положения, предложенные в диссертационной работе:

1. Концептуальная и теоретико-множественная модели реконфигурируемой модульной робототехнической системы.

2. Алгоритмы управления физическим соединением и информационным взаимодействием гомогенных модульных робототехнических устройств при построении связанных пространственных структур.

3. Формат программного описания конфигураций модульных робототехнических систем.

4. Комплекс программных средств управления соединением и информационным взаимодействием гомогенных модульных робототехнических устройств.

Научная новизна работы:

1. Предложены концептуальная и теоретико-множественная модели реконфигурируемой модульной робототехнической системы, отличающиеся функциональной возможностью автоматического формирования последовательных и параллельно-последовательных конфигураций и обеспечивающие описание взаимодействия модульных робототехнических устройств в трехмерном пространстве.

2. Разработаны алгоритмы управления физическим соединением и информационным взаимодействием гомогенных модульных робототехнических устройств при построении связанных пространственных структур, отличающиеся оценением необходимых и доступных ресурсов, синхронизированным управлением отдельными структурными единицами на этапе их передвижения к месту сборки, соединению устройств между собой, а также возможностью реконфигурации в процессе автономного функционирования всей структуры модульной робототехнической системы при решении предметно-ориентированных задач.

3. Разработан формат программного описания конфигураций модульных робототехнических систем, представляющий информацию о целевом положении первого устройства и порядке последующего соединения устройств с указанием параметров соединения, позволяющий представить базовые конфигурации модульных робототехнических систем.

4. Разработан комплекс программных средств управления соединением и информационным взаимодействием гомогенных модульных робототехнических устройств, отличающийся применением системы компьютерного зрения, использующей маркеры дополненной реальности для осуществления контроля над отдельными устройствами в процессе их движения и пространственной ориентации, позволяющей управлять масштабируемыми модульными

робототехническими системами, используя внешние беспроводные средства передачи данных.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций. Автором проведен обширный обзор способов соединения и взаимодействия модульных робототехнических устройств, а также способов управления модульными и многозвенными робототехническими системами.

Для решения поставленных задач в работе используются методы теории информации, теории множеств, теории передачи данных, теории распределенных систем, цифровой обработки сигналов. Компьютерная реализация разработанных алгоритмов производилась с использованием методов обработки матричных структур данных. Для компьютерного моделирования робототехнических устройств применялись системы автоматизированного проектирования, такие как Компас-3D, Solidworks пакеты и высокоуровневые языки для технических расчетов, а также среды для анализа данных Gazebo и V-Rep.

Основные результаты диссертации опубликованы в печатных работах и обсуждались на различных международных и всероссийских конференциях и семинарах. По теме диссертации опубликовано 28 печатных работ, из них 3 публикации в печатных изданиях, входящих в перечень ВАК (Мехатроника, автоматизация, управление, Известия ЮФУ. Технические науки, Известия Тульского государственного университета. Технические науки) и 12 в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus, 2 патента на изобретения, 1 свидетельство на регистрацию ПрЭВМ.

Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы. Разработанные модели и алгоритмы управления соединениями и взаимодействия гомогенных модульных робототехнических устройств были реализованы в программно-аппаратной системе МАРС и использованы рядом коммерческих и государственных организаций в научно-образовательном процессе. Исследования, отражённые в диссертации, проведены в рамках 4 научно-исследовательских работ: 1) грант РФФИ № 16-19-00044 «Принципы распределения задач между сервисными роботами и средствами киберфизического интеллектуального пространства при многомодальном обслуживании пользователей»; 2) грант РФФИ №16-08-00696 «Моделирование автоматизированных робототехнических средств

транспортировки пострадавших»; 3) грант РФФИ №17-58-04110 «Моделирование и разработка энергоэффективных решений задач кинематики и динамики шагающих роботов»; 4) грант РФФИ № 16-29-04101 офи_м «Технологические основы управления попарными соединениями гомогенных роботов при конфигурировании роя в трёхмерные формы». Разработанное модельно-алгоритмическое и программно-аппаратное обеспечение управления модульными роботами было использовано при проведении исследовательских работ и в учебном процессе, получены соответствующие акты внедрения. На предложенные решения получено 2 патента на изобретение: «Мобильная автономная робототехническая платформа с блочной изменяемой структурой» №2704048 от 23.10.2019г. «Магнитно-механическое устройство соединения модульных конструкций» №2708377 от 23.10.2018 г. и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Система моделирования процесса реконфигурации положения распределенных мобильных киберфизических средств» №2018614015 от 27.03.2018 г.

Замечания по диссертационной работе:

1. Не вполне информативной является таблица 3 диссертации со сравнением характеристик существующих модульных роботов, особенно в части классификации способов соединения устройств. Аналогичное замечание относится к классификации МРУ на рис. 1.7 в части полноты рассмотрения способов локомоции и очувствления роботов.

2. Недостаточно подробно описаны ограничения, накладываемые на модульную систему вследствие того, что визуальный контроль за передвижением роботов осуществляется со стороны с помощью вынесенных отдельно камер.

3. Не ясно, позволяют ли предложенные теоретико-множественная и алгоритмическая модели учитывать имеющиеся и накладываемые при разных способах формирования конфигураций МРУ не только голономные, но и неголономные связи в МРС, и исходя из этого определять оптимальный способ формирования конфигурации.

4. Складывается понимание, что предложенный алгоритм формирования конфигурации МРС не учитывает возможное исчерпание энергетических ресурсов

в системе, т.к. в нем отсутствует соответствующая обратная связь (см. рис. 2.2). В целом, мало внимания уделяется анализу условий сходимости данного алгоритма.

5. В работе представлены оценки прочности и надежности предлагаемых магнито-механических соединений, однако при этом не ясно, позволяют ли предложенные модель и алгоритм формирования конфигураций в автоматическом режиме учитывать соответствие между характеристиками соединителей и силами и моментами реакции, возникающими при целевом использовании (перемещении) сконфигурированной из модулей конструкции МРС, то есть в динамике при различном характере нагружения.

6. Работа не очень удачно структурирована. Прикладные примеры модульных роботов обсуждаются предметно, начиная с 3 главы, из-за чего при ознакомлении с второй главой диссертации возникает ряд вопросов по общности описываемых в ней научных результатов, т.к. представленные архитектуры и алгоритмы включают специфические наборы сенсоров, устройств локомоции и информационного обмена, явно присущие конкретным типам мобильных роботов, а не модульным манипуляторам, о которых идет речь в обзорной главе.

Заключение. Несмотря на сделанные замечания, диссертационная работа Павлюка Н.А. является законченным исследованием, написана на актуальную тему, отличается научной новизной и практической значимостью полученных результатов, содержит решение актуальной научно-технической задачи повышения степени автоматизации процесса реконфигурации модульных робототехнических систем. Полученные результаты, умение автора привлекать научные знания из различных областей, логичное изложение материала говорят о высокой научной квалификации соискателя.

Таким образом, диссертационная работа «Модели, алгоритмы, программные средства информационного и физического взаимодействия устройств модульной робототехнической системы» удовлетворяет требованиям ВАК и пунктам 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель Павлюк Никита Андреевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по

специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей».

Профессор факультета систем управления и робототехники
Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»

д.т.н., Сергей Алексеевич Колюбин

30 апреля 2021г

Подпись руки Сергея Алексеевича Колюбина заверяю

Почтовый адрес:

197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д.49, литер А.

Тел.: +79119152954

E-mail: s.kolyubin@itmo.ru