

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора технических наук Андреева Виктора Павловича на диссертационную работу Павлюка Никиты Андреевича «Модели, алгоритмы, программные средства информационного и физического взаимодействия устройств модульной робототехнической системы», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.03.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»

1. Актуальность темы диссертации

Диссертация Павлюка Н.А. посвящена разработке моделей, алгоритмов и программных средств информационного и физического взаимодействия модулей в реконфигурируемых модульных роботах, что позволяет увеличить их функциональность за счёт реализации различных конфигураций без участия со стороны человека-оператора.

Актуальность выбранной темы обусловлена тем, что процесс сложных взаимодействий автономного мобильного робота (МР) с окружающей средой в реальном масштабе времени при постоянно усложняющейся функциональности невозможно реализовать в системе управления (СУ) с моно-вычислителем. Конструкция с моно-вычислителем имеет целый ряд недостатков. Первое – специфика выполняемых работ определяет конструктив робота, что приводит к необходимости создавать большое количество разнообразных робототехнических систем (РТС). Следовательно, растут финансовые затраты на их разработку и изготовление. Второе – с увеличением требований к функциональным возможностям РТС, а также с расширением условий их использования (например, работы в экстремальных условиях Арктики и Антарктики, при освоении космического пространства и иных планет, при решении задач МЧС) растёт алгоритмическая сложность задач управления. Соответственно, возрастают требования к вычислительной мощности центрального компьютера, что увеличивает энергопотребление МР, его стоимость и массогабаритные характеристики. Третье – возрастает сложность и стоимость ремонтно-восстановительных работ данной техники.

При применении робототехнических систем в экстремальных ситуациях зачастую невозможно предсказать условия, в которых будет работать эта РТС; следовательно, невозможно заранее определить её функциональный состав. В этих случаях робот должен быть полностью или частично функционально модифицирован на месте предстоящих работ (или в ходе самих работ). На это обращали внимание в своих публикациях такие известные учёные, как

Юревич Е.И. (2004г., ЦНИИ РТК) и Платонов А.К. (2010г., ИПМ им. М.В. Келдыша РАН). Системы управления РТС с моно-вычислителем в принципе не обеспечивают возможность их оперативной реконфигурации.

Очевидный путь решения перечисленных проблем заключается в создании *реконфигурируемых модульных роботов*. Согласно ISO/DIS 22166-1:2019(E) **модульность** (modularity) – это характеристики, позволяющие разделить системы на дискретные модули и рекомбинировать их; **конфигурация** (configuration) – это компоновка модульного робота путём изменения количества и типа используемых модулей, связей между модулями и настроек для этих модулей, с целью достижения желаемой функциональности модульного робота в целом.

По типу конструкции реконфигурируемые модульные роботы делятся на *гетерогенные* и *гомогенные*. В *гетерогенных* роботах каждый модуль реализует отдельную функцию, что позволяет изменять конфигурацию робота, подбирая нужный комплект модулей разной функциональности в соответствии с целевым назначением робота. В *гомогенных* роботах все модули функционально идентичны между собой и являются самостоятельными элементами. Одной из важнейших задач является реализация способности гомогенных систем автоматически, без участия человека-оператора, перестраиваться в заданные конфигурации. Для реализации этой возможности необходима разработка новых математических моделей управления модульной системой, алгоритмических и программно-аппаратных средств по управлению автоматическим соединением и согласованным взаимодействием модулей.

За рубежом научному и техническому направлению модульной робототехники посвящено значительное количество публикаций. В России лишь в последнее время стали появляться отдельные публикации по данной тематике. На основании изложенного считаю, что настоящая диссертация посвящена решению **актуальных** проблем развития реконфигурируемых модульных робототехнических систем.

2. Основные научные результаты и их новизна

Основными результатами, обладающими научной новизной и характеризующими личный вклад автора, являются:

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 трёхмерном 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 маркёры дополненной реальности для осуществления контроля над отдельными устройствами в процессе их движения и пространственной ориентации, позволяющие управлять масштабируемыми модульными робототехническими системами, используя внешние беспроводные средства передачи данных.

Перечисленные результаты являются новым вкладом в теорию и практику создания гомогенных робототехнических систем.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Автором проведён детальный обзор существующих программно-аппаратных средств модульных и многозвенных робототехнических систем, выполнен анализ способов механического соединения и информационного взаимодействия модульных робототехнических устройств. Проанализированы известные способы управления модульными и

многозвенными РТС. Разработана оригинальная классификация модульных робототехнических устройств и систем.

Для компьютерного моделирования робототехнических устройств применялись системы автоматизированного проектирования, такие как Компас-3D, Solidworks пакеты и высокоуровневые языки для технических расчётов, а также среды для анализа данных Gazebo и V-Rep на базе ROS. Была проведена серия экспериментов для проверки работоспособности разработанных математических моделей и программных средств, для чего использовались физические прототипы, основанные на разработанных моделях.

4. Значимость для науки и практики

Теоретическая значимость работы заключается в решении фундаментальной проблемы ограниченных возможностей робототехнических систем, система управления которых построена на основе моно-вычислителя. В данном исследовании разработаны методологические основы контактного соединения гомогенных модульных робототехнических устройств в единые конструкции в трёхмерном пространстве. Благодаря разработанным математическим моделям, методам и алгоритмам реконфигурации гомогенных РТС могут быть учтены энергетические и конструктивные возможности конкретных разработок, в частности, для управления попарными соединениями модулей, а также для формирования и поддержания требуемой конфигурации.

Практическая значимость работы. Использование автономных реконфигурируемых модульных робототехнических систем как для автоматизации технологических процессов на производстве, так и для сервисного обеспечения жизнедеятельности людей, позволит существенно снизить их стоимость за счёт унификации модулей. При этом функционал таких РТС может относительно легко изменяться в зависимости от цели применения. Наибольшую значимость модульная робототехника приобретает при её использовании в экстремальных условиях, когда требуется оперативная реконфигурация РТС для наиболее эффективного исполнения задач в недетерминированной среде, особенно при работах в условиях агрессивной среды (радиация, зона химического заражения, атмосфера или её отсутствие на иных планетах), когда реконфигурация должна выполняться без участия человека. Свойство реконфигурируемости придаёт модульным роботам более широкие возможности при передвижении по пересеченной местности по сравнению с гусеничными и колёсными платформами за счёт адаптивной

пространственной структуры, которая подстраивается под специфику окружения в зоне действия робота.

5. Замечания по диссертационной работе

1. В диссертации основное направление исследований ограничено гомогенными робототехническими системами. В то же время в работе приведён обширный аналитический обзор публикаций как по гомогенным, так и по гетерогенным РТС. Специфика способов управления соединением и организация информационного взаимодействия в таких системах имеет существенные различия. Полагаю, что аналитический обзор публикаций по гетерогенным РТС является лишним, либо автору следовало особо выделить общие проблемы гетерогенных и гомогенных систем, решению которых посвящено данное исследование.
2. При всех отмеченных автором достоинствах ROS (Robot Operating System) использование этого фреймворка для модульных мобильных РТС ограничивается тем, что для работы ROS необходим, как минимум, компьютер с полноценной Linux-подобной ОС, для которой существует порт этой системы; для работы с ROS необходимо устанавливать на вычислительные устройства модулей довольно сложное и объёмное программное обеспечение; требуется высокий уровень входа для его использования (для конфигурации, например, используются диалекты языка XML). В то же время имеются существенные требования к самим модулям: минимально возможные габариты, минимизация энергопотребления и невысокая стоимость. Эти требования можно соблюсти лишь при использовании в системе управления модулей встраиваемых систем – микропроцессоров или одноплатных компьютеров невысокой производительности. ROS не ориентирован для работы непосредственно на встраиваемых системах.
3. Использование многокамерной системы технического зрения для локализации отдельных модулей по ArUCo-маркерам ограничивает размер зоны сборки полем зрения телекамер, которые, к тому же, должны каким-то образом прочно закрепляться над зоной сборки. Стабильность позиций телекамер обусловлено требованием их калибровки на местности. Такие условия могут быть реализованы лишь в помещении.
4. В диссертации предлагается информационное взаимодействие модулей в гомогенной РТС организовать по беспроводной сети. Это

существенно облегчает решение гибкого физического соединения модулей, поскольку исключаются проблемы организации проводного коммуникационного канала. Однако, возникают проблемы устойчивости радиоканала (зависимость от мощности приёмопередатчиков, погодных условий и др.) и его невысокая защищённость от несанкционированного воздействия, что может отрицательно сказаться на работе всей системы управления РТС.

5. На стр. 87 имеется текст: «В виду неполного равномерного совмещения ...»; здесь следует писать «Ввиду» слитно. На стр. 4 есть текст: «... гомогенных модульных робототехнических единиц ...»; аналогично на стр. 110 в разделе «Заключение» написано: «... гомогенных модульных робототехнических устройств ...», а также в ряде других мест встречается словосочетание «гомогенные модульные», но гомогенные устройства по определению являются модульными. В нескольких случаях, например, в таблицах 1, 2, а также в ряде мест текста, в качестве разделителя целой и дробной части числа используется то точка, то запятая.

6. Заключение

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и трёх приложений, написана ясным научным языком, хорошо структурирована, выводы чётко отражают содержание работы.

Основные результаты диссертации опубликованы в печатных работах и обсуждались на представительных международных и всероссийских конференциях и семинарах. По теме диссертации опубликовано 28 печатных работ, в том числе 3 публикации в печатных изданиях, входящих в перечень ВАК (Мехатроника, автоматизация, управление, Известия ЮФУ. Технические науки, Известия Тульского государственного университета. Технические науки) и в 12 изданиях, индексируемых в WoS/Scopus. Автором по теме диссертационной работы получено 2 патента на изобретения и 1 свидетельство на регистрацию ПрЭВМ.

Считаю, что отмеченные замечания не влияют на основные теоретические и практические результаты диссертационной работы, не снижают её научной и практической значимости. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи реконфигурации модульных робототехнических систем и управления физическими соединениями модулей, что имеет большое значение для развития теории и практики роботостроения. Разработан новый формат

программного описания конфигураций для модульных робототехнических систем и комплекс программных средств управления соединением и информационным взаимодействием модулей в гомогенных системах. Представлена практическая реализация предложенных моделей и алгоритмов в программно-аппаратной гомогенной системе МАРС. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа «Модели, алгоритмы, программные средства информационного и физического взаимодействия устройств модульной робототехнической системы», удовлетворяет требованиям пунктов 9 – 14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель Павлюк Никита Андреевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.03.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей».

Официальный оппонент
профессор Федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования "Московский
государственный технологический
университет "СТАНКИН", старший
научный сотрудник по специальности
«Математическое и программное
обеспечение вычислительных машин,
комплексов, систем и сетей»,
доктор технических наук

Андреев Виктор Павлович

Почтовый адрес: 127994, ГСП-4, г. Москва, Вадковский пер., д.1,
Тел.: +7(965)210-79-51, E-mail: andreevvipa@yandex.ru

Подпись руки В.П. Андреева заверяю