

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК» (СПб ФИЦ РАН)**

14 линия В.О., д. 39, Санкт-Петербург, 199178  
Телефон: (812) 328-34-11, факс: (812) 328-44-50, E-mail: info@spcras.ru, https://spcras.ru/  
ОКПО 04683303, ОГРН 1027800514411, ИНН/КПП 7801003920/780101001

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по научной  
работе СПб ФИЦ РАН, д.т.н.

\_\_\_\_\_ С.В. Кулешов

10 марта 2021 г.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
«Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр  
Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН)  
по диссертации 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 (технические науки)**

Диссертация «Модели, алгоритмы, программные средства информационного и физического взаимодействия устройств модульной робототехнической системы» выполнена в лаборатории автономных робототехнических систем.

В период подготовки диссертации соискатель Павлюк Никита Андреевич работал научным сотрудником в лаборатории автономных робототехнических систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук».

В 2012 г. окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП) по направлению «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети».

В 2019 году окончил аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук по направлению «Информатика и вычислительная техника».

Научный руководитель – д.т.н., профессор, профессор РАН, директор СПб ФИЦ РАН Ронжин А.Л., основное место работы: директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук».

По результатам рассмотрения диссертации «Модели, алгоритмы, программные средства информационного и физического взаимодействия устройств модульной робототехнической системы» принято следующее заключение:

*Оценка выполненной соискателем работы:*

В диссертационной работе Павлюка Н.А. решена научная задача повышения степени автоматизации процесса реконфигурации модульных робототехнических систем для решения предметно-ориентированных задач. Разработаны новые концептуальная и теоретико-множественная модели реконфигурируемой модульной робототехнической системы, алгоритмы управления физическим соединением и информационным взаимодействием гомогенных модульных робототехнических устройств при построении связанных пространственных структур, формат программного описания конфигураций модульных робототехнических систем и комплекс программных средств управления соединением и информационным взаимодействием гомогенных модульных робототехнических устройств. Актуальность исследований подтверждается развитием модульной робототехники, открывающей новые возможности формирования структур, адаптированных к решению конкретной прикладной задачи в определенном месте и в определенное время. Это создает спрос на разработку моделей, алгоритмов и программных средств по управлению автономным соединением и взаимодействием модульных роботов.

*Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации:*

В работе лично Павлюком Н.А. получены следующие результаты: 1) концептуальная и теоретико-множественная модели реконфигурируемой модульной робототехнической системы; 2) Разработаны алгоритмы управления физическим соединением и информационным взаимодействием гомогенных модульных робототехнических устройств при построении связанных пространственных структур; 3) Разработан формат программного описания конфигураций модульных робототехнических систем; 4) Разработан комплекс программных средств управления соединением и информационным взаимодействием гомогенных модульных робототехнических устройств.

*Степень достоверности результатов проведенных исследований:*

Достоверность научных положений, основных выводов и результатов диссертации обеспечивается за счёт анализа состояния исследований в данной области, согласованности теоретических выводов с результатами экспериментальной проверки алгоритмов, а также за счет апробации основных теоретических положений диссертации в печатных трудах и докладах на международных научных специализированных конференциях.

*Научная новизна полученных результатов:*

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.

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.

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.

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.

#### *Практическая значимость полученных результатов:*

Результаты выполненных в диссертационной работе исследований позволили автоматизировать процесс физического соединения гомогенных модульных роботов. Разработанные модели, алгоритмы и программные средства могут быть использованы в перспективных модульных робототехнических системах.

Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что разработанные модели и алгоритмы управления соединениями и взаимодействия гомогенных модульных робототехнических устройств были реализованы в программно-аппаратной системе мобильной автономной реконфигурируемой системы (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 СПб ФИЦ РАН, КБНЦ РАН, ООО «Фабрика растений» и в учебном процессе ГУАП, 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. По результатам выполнения диссертационного исследования получено 1 свидетельство о регистрации программ для ЭВМ и 2 патента на изобретение.

*Специальность, которой соответствует диссертация*

Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней и п. 3, 6-10, 14 Паспорта специальностей ВАК по специальности 05.13.11 «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей» (технические науки).

*Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем*

Основные результаты диссертации изложены в достаточной полноте в следующих 20 научных публикациях:

1. Павлюк Н.А. Конструктивные и архитектурные решения для сервисной мобильной платформы со сменными компонентами, Павлюк Н.А., Смирнов П.А., Ковалев А.Д. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 10. С. 181-193. **(Перечень ВАК)**.
2. Павлюк Н.А. Разработка конструкции узла ноги антропоморфного робота Антарес на основе двухмоторного колена, Павлюк Н. А., Будков В. Ю., Бизин М. М., Ронжин А. Л. // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. № 1 (174). С. 227-239. **(Перечень ВАК)**.
3. Павлюк Н.А. Исследование устойчивости конструкции антропоморфного робота Антарес при воздействии внешней нагрузки, Кодяков А.С., Павлюк Н.А., Будков В.Ю. // Мехатроника, автоматизация, управление. 2017. -Т. 18. № 5. С. 321-327. **(Перечень ВАК)**.
4. Павлюк Н.А., Крестовников К.Д., Пыхов Д.Э. Мобильная автономная реконфигурируемая система. Проблемы региональной энергетики. 2018. 1(36). С. 125-135. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.1217296> **(WoS/Scopus)**.
5. Ronzhin, A., Vatamaniuk, I., Pavluk, N.: Automatic control of robotic swarm during convex shape generation. In: International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering, pp. 675-680 (2016) **(WoS/Scopus)**.
6. Pavluk, N., Ivin, A., Budkov, V., Kodyakov, A. and Ronzhin, A. (2016), Mechanical leg design of the anthropomorphic robot Antares, International Conference on Interactive Collaborative Robotics, 2016, Springer, Cham, pp. 113-123 **(WoS/Scopus)**.
7. Kodyakov, A.S., Pavlyuk, N.A., Budkov, V.Y., Prakupovich, R.A.: Stability study of anthropomorphic robot Antares under external load action. IOP Conf. Ser. J. Phys. 2017. 803, 012074 **(WoS/Scopus)**.
8. Denisov, A., Iakovlev, R., Mamaev, I. and Pavliuk, N. Analysis of balance control methods based on inverted pendulum for legged robots, MATEC Web of Conferences, 2017, EDP Sciences. **(WoS/Scopus)**.
9. N.A.Pavliuk, K.D.Krestovnikov, D.E.Pykhov, V.U.Budkov, Design and Operation Principles of the Magnetomechanical Connector of the Module of the Mobile Autonomous Reconfigurable System // Interactive Collaborative Robotics: Third International Conference. Leipzig, Germany, 2018. Proceedings. P. 202-212. DOI: 10.1007/978-3-319-99582-3\_21 **(WoS/Scopus)**.

10. Pavliuk N., Smirnov P., Kondratkov A., Ronzhin A., Connecting gripping mechanism based on iris diaphragm for modular autonomous robots // Interactive Collaborative Robotics. Lecture Notes in Computer Science. 2019. Vol. 11659 LNAI. pp. 260-269. **(WoS/Scopus)**.
11. Kovalev A., Pavliuk N., Krestovnikov K., Saveliev A., Generation of walking patterns for biped robots based on dynamics of 3d linear inverted pendulum // Lecture Notes in Computer Science (см. в книгах). 2019. Т. 11659 LNAI. С. 170-181. **(WoS/Scopus)**.
12. Pavliuk N., Pykhov D., Saveliev A., Cherskikh E., Formation of modular structures with mobile autonomous reconfigurable system // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2020. Vol. 154. С. 383-395. **(WoS/Scopus)**.
13. Pavliuk N., Kharkov I., Zimuldinov E., Saprychev V., Development of multipurpose mobile platform with a modular structure // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2020. vol. 154. pp. 137-147. **(WoS/Scopus)**.
14. М.М. Бизин, А.В. Денисов, А.С. Кодяков, Н.А. Павлюк, Л.А. Станкевич. Педипуляторы антропоморфного робота Антарес с двухмоторной сборкой колена и двухсегментной стопой // Робототехника и техническая кибернетика. 2016. -Т. 13. -№ 4. -С. 71-78. **(РИНЦ)**
15. Павлюк Н.А., Моделирование опорной конструкции тазового механизма антропоморфного робота Антарес // Экстремальная робототехника. 2017. Т. 1. № 1. С. 155-160. **(РИНЦ)**
16. Павлюк Н.А. Формирование функциональных структур на основе гомогенных единиц модульной автономной реконфигурируемой системы, Павлюк Н.А., Смирнов П.А., Ковалев А.Д. // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2019. Т. 17. № 5. С. 14-20, **(Перечень ВАК)**.
17. Павлюк Н.А. Классификация реконфигурируемых модульных робототехнических систем // Доклады Адыгской (Черкесской) Международной академии наук. 2020. Т. 20. № 3. С. 30-37. DOI: 10.47928/1726-9946-2020-20-3-30-37 **(Перечень ВАК)**.
18. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2018614015 от 27.03.2018, Ватаманюк И.В., Павлюк Н.А. Система моделирования процесса реконфигурации положения распределенных мобильных киберфизических средств.
19. Патент на изобретение № 2708377 от 06.12.2019, Савельев А.И., Крестовников К.Д., Павлюк Н.А., Магнитно-механическое устройство соединения модульных конструкций.
20. Патент на изобретение № 2704048 от 23.10.2019, Савельев А.И., Харьков И.Ю., Павлюк Н.А., Карпов А.А., Мобильная автономная робототехническая платформа с блочной изменяемой структурой.

Ценность научных работ соискателя заключается в том, что они раскрывают методологию и результаты решения задачи повышения степени автоматизации процесса реконфигурации модульных робототехнических систем для решения предметно-ориентированных задач, поставленной в диссертационном исследовании, а также обеспечивают воспроизводимость полученных научных результатов.

Диссертационная работа соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842.

Диссертация «Модели, алгоритмы, программные средства информационного и физического взаимодействия устройств модульной робототехнической системы» Павлюка Никиты Андреевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 — Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей (технические науки).

Заключение принято на расширенном семинаре Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук». Присутствовало на заседании 10 чел. Результаты голосования: «за» — 10 чел., «против» — 0 чел., «воздержалось» — 0 чел., протокол №1 от 03.03.2021 г.

Председатель семинара:  
ВРИО директора СПИИРАН  
доктор технических наук, профессор

Василий Юрьевич Осипов

Секретарь семинара:  
Старший научный сотрудник лаборатории  
автоматизации научных исследований  
кандидат технических наук

Алексей Юрьевич Аксенов