

УДК62-182.78

DOI 10.35211/1990-5297-2020-9-244-68-72

Н. А. Павлюк

**МОДЕЛЬ МОДУЛЬНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА,
СПОСОБНОГО К АВТОНОМНОМУ ФОРМИРОВАНИЮ
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СТРУКТУР**

**Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации
Российской академии наук**

antei.hasgard@gmail.com

Представлены модель и прототип модульного робототехнического устройства, способного самостоятельно соединяться в формацию ТриМод и перемещаться в ее составе. Устройство имеет грузоподъемность до 3 кг и не нуждается в ручном контроле работы механизмов передвижения и соединения.

Ключевые слова: модульная робототехника, модульный робот, прототип, модульная система, формации.

© Павлюк Н. А., 2020

N. A. Pavliuk

MODEL OF A MODULAR ROBOTIC DEVICE ABLE FOR AUTONOMOUS FORMATION OF FUNCTIONAL STRUCTURES

St. Petersburg Institute for Informatics and Automation
of the Russian Academy of Sciences

A model and prototype of a modular robotic device capable of independently connecting to the TriMod formation and moving in its composition are presented. The device has a load capacity of up to 3 kg and does not need manual control of the movement and connection mechanisms.

Keywords: modular robotics, modular robot, prototype, modular system, formations.

Введение

Совместная работа роботов в одной пространственной структуре позволяет получить формации модульных робототехнических систем (РС) различных форм, размеров, способов передвижения, сенсорных и функциональных возможностей для выполнения требуемой задачи [1]. При этом необходимо обеспечить автономность соединения модулей при построении формации. Одним из решений такой задачи является упрощение механизмов, а также создание дополнительных внешних условий для реконфигурации.

Для построения конфигураций в форме куба и кубоида могут использоваться кубические роботы M-Block[2], UBot[3] и SambotII [4]. Такие РС имеют от одного до четырех соединительных поверхностей, на которых расположены магнитные или механические захваты для сцепления моделей. В работе [4] в качестве механических соединительных устройств применяются пара крюков, которые вставляются в пазы на пассивной поверхности модуля.

Соединительные крюки также используются для построения реконфигурируемой мебели на основе модулей Roombots [5]. Каждый модуль Roombots состоит из четырех взаимосвязанных подвижных полусфер. Для соединения модулей используется 10 соединительных пластин, на двух из которых расположены 300 подвижных крюков.

Другим примером модульных РС является треугольный робот Mofi [6]. Для соединения двух устройств используется небольшой симметричный механизм сцепления, оснащенный вращающимся шарниром. Каждое устройство Mofi контролирует движение трех смежных

модулей и вместе с ними образует тетраэдр или фигуру произвольной формы.

Модульные РС ChainFORM [7] и MTRAN III[8] предназначены для построения змеевидной структуры. Длина цепочки определяется мощностью источника питания и в случае ChainFORM не может превышать 32 модуля.

Также для достижения желаемой формы модульной РС могут применяться стрелки регулируемой длины [9]. В этом случае соединение модулей осуществляется при помощи механизма [10] на основе бесконтактного привода и специально разработанных зажимных профилей.

Представленные выше решения обладают следующими основными недостатками: ограниченные возможности по передвижению в среде с динамическими препятствиями и низкая автономность устройств не в составе формации. Для решения этих проблем предлагается разработать модель робототехнического устройства, которая обеспечит передвижение робототехнических средств как в составе формации, так и по отдельности.

Модель MAPC

По сравнению с рассмотренными аналогами разработанная модель мобильной автономной реконфигурируемой системы (МАРС) [11–13] обладает большими возможностями перемещения и устойчивостью (рис. 1, а). Система способна самостоятельно соединяться в формацию вне зависимости от начального расположения устройств, а также перемещаться в ее составе. Соединительный механизм модульного робототехнического устройства (МРУ) обеспечивает самоцентрирование устройств во время соединения.

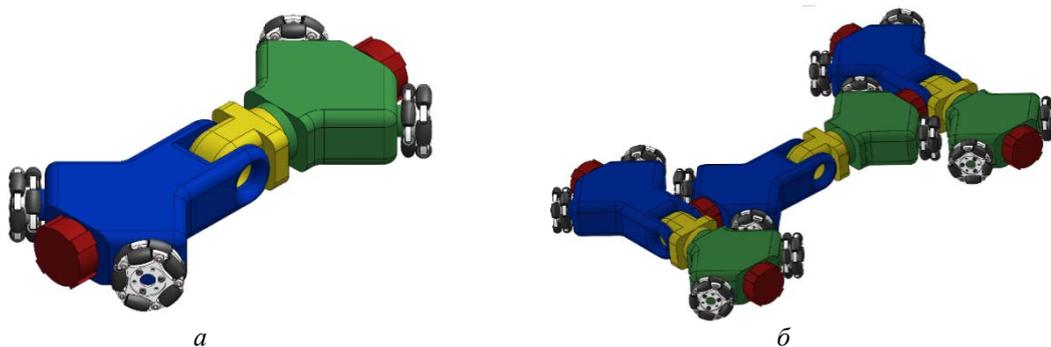


Рис. 1. Модель МРУ МАРС (а); модель формации ТриМод (б)

Формация ТриМод (рис. 1, б) включает в себя три устройства, соединенных в H-образную структуру. Формация разработана таким образом, чтобы добавление дополнительных устройств увеличивало функциональность полученной структуры. Это позволяет использовать формацию ТриМод для транспортировки грузов, а также как основу для формирования более сложных конфигураций.

Проведение симуляционного моделирования МАРС

Для тестирования полученной модели были проведены испытания в симуляционной среде Gazebo (рис. 2) с тремя устройствами на поле размером 3×3 м. На первом шаге моделирования проводится случайная расстановка уст-

ройств на поле. Затем инициализируются сервер управления устройств и сами модули. Далее фиксируется время начала эксперимента, после чего модули начинают движение и соединяются в формацию ТриМод. Последний шаг моделирования заключается в логировании полученных данных.

На рис. 2 представлен процесс симуляции построения формации ТриМод на плоскости. Модули последовательно перемещаются на позиции соединений без коллизий и образуют заданную конфигурацию. В процессе моделирования было проведено 10 испытаний по построению формации ТриМод. Среднее время перемещения всех МРУ на позиции соединения составило 144,7 с, общее время работы системы – 167,4 с.

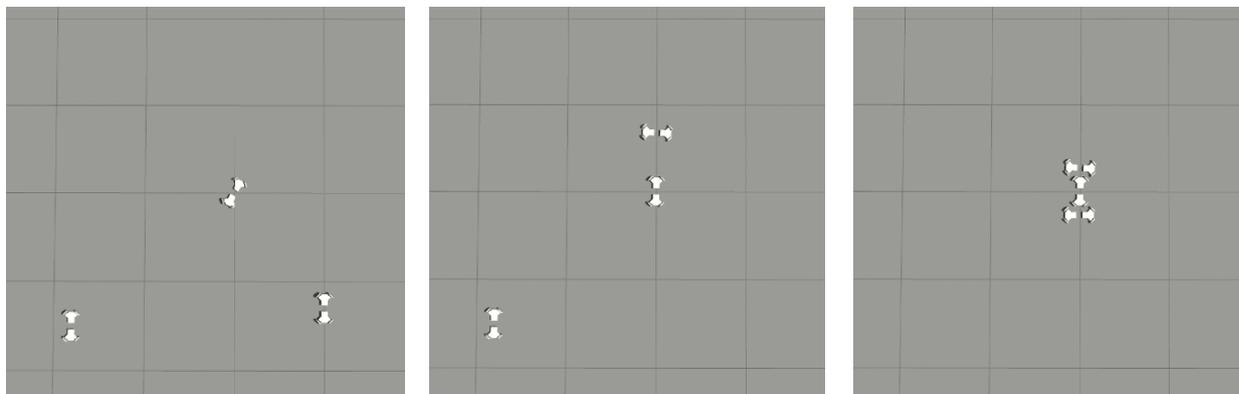


Рис. 2. Построение формации ТриМод

Прототип робота МАРС

В соответствии с разработанной моделью был разработан прототип МРУ. Конструкция модуля включает в себя колесную базу на все-направленных колесах [14], что позволяет устройству разворачиваться на месте и двигаться по диагонали. Прототип МРУ МАРС и его характеристики представлены на рис. 3 и в табл. 1 соответственно.



Рис. 3. Прототип МРУ МАРС

Таблица 1

Характеристики МРУ МАРС

Характеристика	Значение
Микроконтроллер	ESP32-WROOM
Интерфейсы связи	USB, Wi-Fi
Аккумулятор	900 мАч
Время работы	до 40 мин
Масса	1,1 кг
Грузоподъемность	3 кг
Габариты	340×140×50 мм
Колесная база	Всенаправленные колеса
Осевой блок	Двухосевой актуатор
Устройство соединения	Трехпозиционный раздвижной захват
Сенсоры	ИК-датчики, гироскоп, акселерометр

Для обеспечения сцепления МРУ разработано самоцентрирующееся механическое устройство соединения (МУС), а также осевой блок, обеспечивающий сгибание и осевое вращение устройства относительно его геометрического центра в составе формации [11]. МУС реализовано в виде захвата на основе ирисовой диафрагмы [12]. Устройство имеет два режима работы: 1) захват; 2) соединительная пластина.

Для соосного позиционирования МРУ относительно друг друга используются ИК-датчики, которые на расстоянии до 40 мм имеют погрешность распознавания 12 мм по горизонтальной

оси. Рабочие органы МУС сменные и самоцентрирующиеся с погрешностью соосности до 15 мм. В центральной части шасси расширено для размещения двухосевого актуатора, аккумуляторной батареи и микроконтроллера системы управления. Двухосевой актуатор МРУ осуществляет вращение по двум осям в пределах 180°, нулевым положением считается положение 90°. Такая конструкция позволяет использовать МРУ в качестве любого из трех элементов Н-структуры. В табл. 2 приведено сравнение характеристик разработанного прототипа устройства с существующими аналогами.

Таблица 2

Сравнение модульных роботов и МАРС

Модель	Питание	Способ соединения	Функциональность одного модуля
ChainFORM	Внешнее	Ручной	LED-индикация
M-Block	АКБ	Магнитный	–
Mori	Внешнее	Ручной	–
M-TRAN	АКБ	Механический	Сгибание и разгибание устройства
Tetrobot	Внешнее	–	–
UBot	АКБ	Механический	Поворотный шарнир
Roombots	АКБ	Механический	Соединение с другими устройствами
SambotII	АКБ	Механический	Автономное соединение с другими устройствами
МАРС	АКБ	Механический	Сгибание и разгибание, осевое вращение по центру, автономное соединение с другими устройствами, перемещение грузов до 3 кг

Отличительной особенностью МРУ МАРС является возможность перемещения грузов весом до 3 кг, что в три раза превышает массу са-

мого устройства. Автономность и функциональность устройства исключает необходимость постоянного ручного контроля работы

механизмов передвижения и соединения во время построения формации и реконфигурации в начальное положение.

Заключение

Предложенное решение обеспечивает реконфигурацию гомогенных робототехнических устройств, расширяя решаемый ими спектр задач, повышая проходимость и грузоподъемность МРУ. Результаты исследования, также, как и полученные прототипы, могут найти применение в области киберфизических систем [15–17] а также при разработке антропоморфных робототехнических устройств [18].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Shlyakhov, N. E.* Survey of methods and algorithms of robot swarm aggregation / N. E. Shlyakhov, I. V. Vatamaniuk., A. L. Ronzhin // *Journal of Physics: Conference Series.* – 2017. – Т. 803. – С. 012146.
2. *Romanishin, J. W.* M-blocks: Momentum-driven, magnetic modular robots / J. W. Romanishin, K. Gilpin, D. Rus // *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2013. – Art. no. 6696971. – С. 42884295.
3. The UBot modules for self-reconfigurable robot / S. Tang, Y. Zhu, J. Zhao, X. Cui // *2009 ASME/IFToMM International Conference on Reconfigurable Mechanisms and Robots.* – IEEE, 2009. – С. 529–535.
4. *Tan, W.* SambotII: A New Self-Assembly Modular Robot Platform Based on Sambot / W. Tan, H. Wei, B. Yang // *Applied Sciences.* – 2018. – Т. 8. – № 10. – С. 1719.
5. Roombots extended: Challenges in the next generation of self-reconfigurable modular robots and their application in adaptive and assistive furniture / S. Hauser, M. Mutlu, P. A. Léziart, H. Khodr, A. Bernardino, A. J. Ijspeert // *Robotics and Autonomous Systems.* – 2020. – Т. 127. – С. 103467.
6. *Belke, C. H., Paik J.* Mori: a modular origami robot / C. H. Belke, J. Paik // *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics.* – 2017. – Т. 22. – № 5. – С. 2153–2164.
7. *Nakagaki, K.* ChainFORM: A Linear Integrated Modular Hardware System for Shape Changing Interfaces // *Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology.* – 2016. – С. 87–96.
8. M-TRAN: self-reconfigurable modular robotic system / S. Murata, E. Yoshida, A. Kamimura, H. Kurokawa, K. Tomita, S. Kokaji // *IEEE/ASME transactions on mechatronics.* – 2002. – Т. 7. – № 4. – С. 431–441.
9. *Hamlin, G.J.* Tetrobot: a modular system for hyper-redundant parallel robotics // *Proceedings of 1995 IEEE International Conference on Robotics and Automation.* IEEE. – 1995. – Т. 1. – С. 154–159.
10. *Saab, W.* Development of a novel coupling mechanism for modular self-reconfigurable mobile robots / W. Saab, P. Ben-Tzvi // *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference.* – American Society of Mechanical Engineers, 2015. – Т. 57137. – С. V05BT08A007.
11. Formation of modular structures with mobile autonomous reconfigurable system / N. Pavliuk, D. Pykhov, A. Saveliev, E. Cherskikh // *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2020. – Т. 154. – С. 383–395.
12. Connecting Gripping Mechanism Based on Iris Diaphragm for Modular Autonomous Robots / N. A. Pavliuk, P. A. Smirnov, A. V. Kondratkov, A. L. Ronzhin // *International Conference on Interactive Collaborative Robotics.* – Springer, Cham, 2019. – С. 260–269.
13. *Pavliuk, N. A., Krestovnikov, K. D., Pykhov, D. E.* Mobile Autonomous Reconfigurable System, 2018. – Т. 1. – С. 125–135.
14. *Bi, Z.* Design of a Cobot with Three Omni-Wheels / Z. Bi, L. Wang // *Engineering Faculty Presentations*, 2009.
15. *Ватаманюк, И. В.* Обобщенные теоретические модели киберфизических систем / И. В. Ватаманюк, Р. Н. Яковлев // *Известия Юго-Западного государственного университета.* – 2020. – Т. 23. – № 6. – С. 161–175.
16. *Яковлев, Р. Н.* Алгоритмическая модель распределенной системы корпоративного информирования в рамках киберфизической системы организации / Р. Н. Яковлев, И. В. Ватаманюк // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* – 2019. – Т. 7. – № 4. – С. 32–33.
17. *Iakovlev, R.* Architecture Transformation of the Corporate Information Providing System for a Scientific Organization / R. Iakovlev, I. Vatamaniuk, D. Malov // *2019 12th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE).* – IEEE, 2019. – С. 873–878.
18. Generation of Walking Patterns for Biped Robots Based on Dynamics of 3D Linear Inverted Pendulum / A. Kovalev, N. Pavliuk, K. Krestovnikov, A. Saveliev // *International Conference on Interactive Collaborative Robotics.* – Springer, Cham, 2019. – С. 170–181.