

УДК 519.71 + 62-182.78

Научная статья

## **Математические и алгоритмические модели реконфигурации модульной робототехнической системы**

***Н. А. Павлюк***

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН), Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, лаборатория автономных робототехнических систем, 14 линия д. 39, г. Санкт-Петербург, 199178, Россия

E-mail: antei.hasgard@iias.spb.su

Обоснована актуальность научной проблемы разработки алгоритмических моделей и программных средств автономного соединения и взаимодействия модульных гомогенных роботов. Представлен обзор существующих модульных робототехнических устройств и модульных робототехнических систем. Рассмотрены разработанные концептуальная и теоретико-множественная модели модульной робототехнической системы. Описаны алгоритмы физического соединения и информационного взаимодействия гомогенных модульных робототехнических устройств при построении связанных пространственных структур.

*Ключевые слова:* алгоритм, модульное робототехническое устройство, конфигурация, реконфигурация, модульная робототехническая система, модульный робот.

DOI: 10.26117/2079-6641-2020-33-4-122-131

Поступила в редакцию: 18.11.2020

В окончательном варианте: 10.12.2020

**Для цитирования.** Павлюк Н. А. Математические и алгоритмические модели реконфигурации модульной робототехнической системы // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки.* 2020. Т. 33. № 4. С. 122-131. DOI: 10.26117/2079-6641-2020-33-4-122-131

*Контент публикуется на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International* (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

© Павлюк Н. А., 2020

### **Введение**

С развитием модульной робототехники открывается принципиально новая возможность формирования из отдельных полнофункциональных гомогенных модульных робототехнических устройств (МРУ) пространственную структуру, адаптированную к решению конкретной прикладной задачи в определенном месте и времени. Возможные области их применения варьируются от оборонной сферы до индустрии развлечений [1]. В зависимости от задач,

**Финансирование.** Работа выполнялась без финансовой поддержки

поставленных перед модульной робототехнической системой (МРС), выбирается одна из трех стратегий группового управления: централизованная, либо децентрализованная или иерархическая [2]. Для реализации функциональной возможности роботов к соединению и реконфигурации сформированной конструкции в ходе передвижения или манипуляций с объектами окружающей среды необходимы новые модельно-алгоритмические и программно-аппаратные средства синхронизированного управления физическим сцеплением модульных роботов, а также их информационного взаимодействия. МРС отличаются способностью реконфигурироваться для создания двумерных и трехмерных структур различной функциональности. За счет реконфигурируемости модульная система позволяет решать широкий спектр задач, невыполнимых для отдельного робота с неизменной структурой. Конструкция МРУ предусматривает их контактное физическое соединение, допускающее вращение устройств относительно друг друга и реконфигурацию всей системы. Основные проблемы разработки модельно-алгоритмического и программно-аппаратного обеспечения функционирования контактного соединения гомогенных робототехнических устройств связаны с ограниченными возможностями отдельных роботов и сложностью учета их кинематических и динамических параметров в процессе сборки в единые конструкции и последующей реконфигурации в трехмерном пространстве [3] - [6]. Далее рассмотрим существующие примеры модульных робототехнических систем.

В работе [7] представлен распределенный алгоритм для реконфигурации кубических модульных роботов в условиях ограниченного пространства. Алгоритм исключает необходимость в реконфигурации путем расформирования конфигурации модульного робота на отдельные модули для реконфигурирования. Вместо этого используется только пространство, в котором находятся стартовая и целевая конфигурации, независимо от их положения в пространстве. Авторы утверждают, что алгоритм применим и в ситуациях, когда между начальной и целевой конфигурациями имеются помехи для движения роботов.

Авторы работы [8] предлагают алгоритм распределенного управления, предназначенный для построения и сохранения структуры заранее определенной формы при неконтролируемых движениях, исключении или введении дополнительных узлов в конструкцию. Данный алгоритм управления не зависит от количества узлов, количество которых может достигать 1000 [9].

В работе [10] предложен метод к управлению модульным роботом с помощью нейрокompьютерного интерфейса, разработанного на платформе OpenViBE. Метод заключается в установлении связи с моделью робота на основе данных от нейрокompьютерного интерфейса. Применяется система унифицированного сбора временных рядов измерений в экспериментах (LSL), а именно сервера в OpenViBE и клиентского приложения на Python, передающего информацию в симулятор V-REP через программный интерфейс, для. Метод демонстрируется на модели модульного робота DTTO в симуляционной среде V-REP.

В работе [11] предложен алгоритм генерации ритмических движений для модульного змеевидного робота. Также предложена конструкция робота, оснащенного приводами рыскания и тангажа, способного перемещаться в трехмерном пространстве. Робот состоит из модулей, имитирующих голову, шею и хвост змеи, а также семи телескопических модулей. Представленный алгоритм использует центральные генераторы паттернов CPG на основе нейронных осцилляторов для создания ритмических паттернов движений следующих типов: змеевидный, боковой,

двух- и четырехступенчатые гармонические. Работа алгоритма продемонстрирована на представленном роботе.

В работе [12] также рассматриваются алгоритмы децентрализованного планирования движения группы роботов. Разработаны алгоритмы распределения роботов на плоскости, не требующие предварительного задания их координат, основанные на триангуляции Делоне. Среднеквадратическое отклонение экспериментальных траекторий пяти однотипных гексакоптеров от моделируемых составило около 2,0 м.

В работе [13] рассматривается задача организации поведения мобильных гомогенных роботов в ограниченном пространстве автоматизированных складских помещений. Разработанный алгоритм оптимизации траекторий движения роботов основан на интеграции роевого интеллекта и генетической эволюции и обеспечивает возможность поиска решений в аффинном пространстве позиций с целочисленными значениями параметров.

В работе [14] предложен подход к адаптивному управлению модульными роботами с произвольной конструкцией в рамках заданных пользователем ограничений. Преимуществом подхода является возможность настройки формируемого робота путем задания набора базовых предикатов. При этом набор предикатов задается не для каждого отдельного типа роботов, а для всего класса схожих конструкций. Для этого конструкция робота представлена в виде дерева элементов, в котором каждая вершина – модуль, а ребра – соединения между ними.

Аналитический обзор существующих МРС позволил выделить ряд ключевых характеристик и сформулировать математические модели управления их реконfigurацией.

## **1. Концептуальная и теоретико-множественная модели модульной робототехнической системы**

Далее рассмотрим концептуальную и теоретико-множественную модели управления конфигурированием модульной робототехнической системы. Предложенные модели служат основой для формирования описания пространственных структур МРС и управления МРУ при реконfigurации МРС. Приведена формальная постановка задачи управления модульными робототехническими устройствами при формировании конфигураций модульной робототехнической системы, рассмотрен комплекс алгоритмов, задействованных при реализации соединения модульных робототехнических устройств между собой. Представлен алгоритм построения конфигураций на основе данных о необходимом количестве МРУ, их координатах и ориентации каждого МРУ. Для обнаружения и отслеживания положения и ориентации устройств используется модуль AgUso библиотеки OpenCV, предоставляющий алгоритмы обнаружения маркера дополненной реальности на изображении и для вычисления его пространственного местоположения. Приведены алгоритмы поиска, оценивания состояния, выбора и соединения МРУ в области формирования конфигурации МРС. После завершения соединения МРУ полученная конфигурация МРС начинает свою работу путем реконfigurации или передвижения.

Для формализации задач соединения и взаимодействия модульных робототехнических устройств (МРУ) в процессе функционирования модульной робототехнической системы (МРС) была предложена концептуальная модель, представленная на рис. 1, включающая следующие основные сущности: параметры МРУ, параметры МРС, функции системы управления МРС, задачи МРС и устройства обмена данными между МРУ и системой управления МРС.

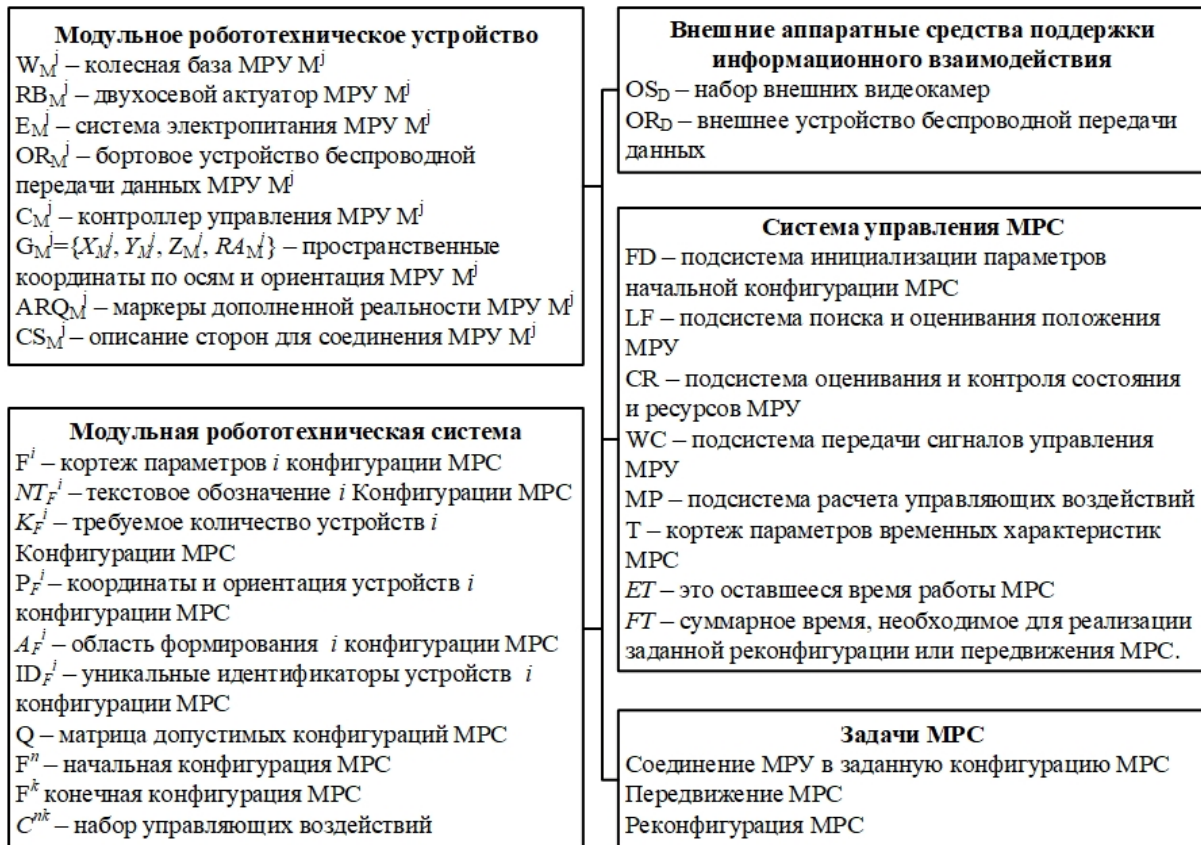


Рис. 1. Концептуальная модель мобильной автономной реконфигурируемой системы.

Исходя из предложенной концептуальной модели, сформулируем задачу диссертационного исследования следующим образом. Необходимо выполнить разработку модельно-алгоритмического и программно-аппаратного обеспечения синхронизированного централизованного управления группой модульных робототехнических устройств, находящихся в области формирования конфигурации модульной робототехнической системы, подключенных к сети беспроводной связи и обладающих достаточным зарядом аккумулятора для осуществления последовательного передвижения и соединения в единую пространственную конструкцию, а затем выполнения прикладных задач передвижения и реконфигурации модульной робототехнической системы. Централизованное управление группой МРУ осуществляется на основе данных от внешней сенсорной системы набора видеокамер, анализирующей положения и ориентации всех МРУ, путем последовательного передвижения МРУ на этапе соединения в конфигурацию и параллельного синхронного управления МРУ при передвижении и реконфигурации МРС.

На основе предложенной концептуальной модели рассмотрим далее теоретико-множественную модель модульной робототехнической системы, представленную

следующим кортежем параметров:

$$MRS = \langle M, F, Q, D, S, T \rangle,$$

где:  $M$  – множество МПУ,  $F$  – множество конфигураций МРС,  $Q$  – матрица допустимых реконфигураций МРС,  $D$  – внешние аппаратные средства,  $S$  – система управления МРС,  $T$  – временные характеристики. Далее рассмотрим введенные параметры более подробно.

$M = \{M^1, M^2, \dots, M^j, \dots, M^J\}$  – множество МПУ, где уникальный номер  $j \in [1, J]$ ,  $J$  – количество МПУ, необходимое для реализации всех допустимых конфигураций МРС. Описание каждого МПУ представляет собой кортеж параметров  $M_j = \langle W_M^j, RB_M^j, E_M^j, OR_M^j, C_M^j, G_M^j, ARQ_M^j, CS_M^j \rangle$ , описывающий элементы МПУ, такие как  $W_M^j$  – колесная база,  $RB_M^j$  – функциональный осевой поворотный блок,  $E_M^j$  – система электропитания,  $OR_M^j$  – бортовое устройство беспроводной передачи данных,  $C_M^j$  – контроллер управления, пространственные координаты по соответствующим осям и ориентация МПУ  $G_M^j = \{X_M^j, Y_M^j, Z_M^j, RA_M^j\}$ , а также маркеры дополненной реальности  $ARQ_M^j$ , расположенные на ключевых точках МПУ, необходимые для локализации и определения ориентации МПУ в пространстве,  $CS_M^j$  – описание сторон МПУ, оснащенных соединительным механизмом, используемым при построении конфигурации, представлено следующим кортежем параметров:  $CS_M^j = \langle CS1_M^j, CS2_M^j, CS3_M^j, CS4_M^j \rangle$ , где  $CS1_M^j$  – передняя приемная сторона МПУ  $M^j$ ,  $CS2_M^j$  – правая сторона МПУ  $M^j$ ,  $CS3_M^j$  – задняя приемная сторона МПУ  $M^j$  и  $CS4_M^j$  – левая сторона МПУ  $M^j$ .

$F = \{F^1, F^2, \dots, F^i, \dots, F^I\}$  – множество конфигураций, формируемых данной МРС,  $i \in [1, I]$ , где  $I$  – максимальное количество различных конфигураций для данной МРС. Описание каждой конфигурации представляет собой кортеж параметров  $F_i = \langle NT_F^i, K_F^i, P_F^i, A_F^i, ID_F^i \rangle$ , где  $NT_F^i$  – текстовое обозначение конфигурации  $i$ ,  $K_F^i$  – количество устройств, необходимое для построения конфигурации  $F^i$ ,  $P_F^i$  – множество размерностью  $K_F^i$ , описывающее конечные координаты центров и ориентацию устройств МПУ в области формирования конфигурации  $A_F^i$ , а также уникальные идентификаторы устройств  $ID_F^i \in [1, K_F^i]$ . Каждый элемент из множества  $P_{Fi} = \{P_{Fi}^1, P_{Fi}^2, \dots, P_{Fi}^m, \dots, P_{Fi}^{K_F^i}\}$ , где  $m \in [1, K_F^i]$ , представляет собой кортеж параметров пространственных координат по соответствующим осям и ориентацию МПУ  $P_{Fi}^m = G_{P_{Fi}^m} = \langle X_{P_{Fi}^m}, Y_{P_{Fi}^m}, Z_{P_{Fi}^m}, RA_{P_{Fi}^m} \rangle$ .

Отношения и функциональные зависимости между введенными кортежами параметров описаны далее в виде алгоритмических моделей и реализованы в программных средствах по автономному соединению и взаимодействию модульных робототехнических устройств. Предложенные концептуальная и теоретико-множественные модели служат основой для формирования модельно-алгоритмического обеспечения управления функционированием отдельных модульных робототехнических устройств и образованной модульной робототехнической системы.

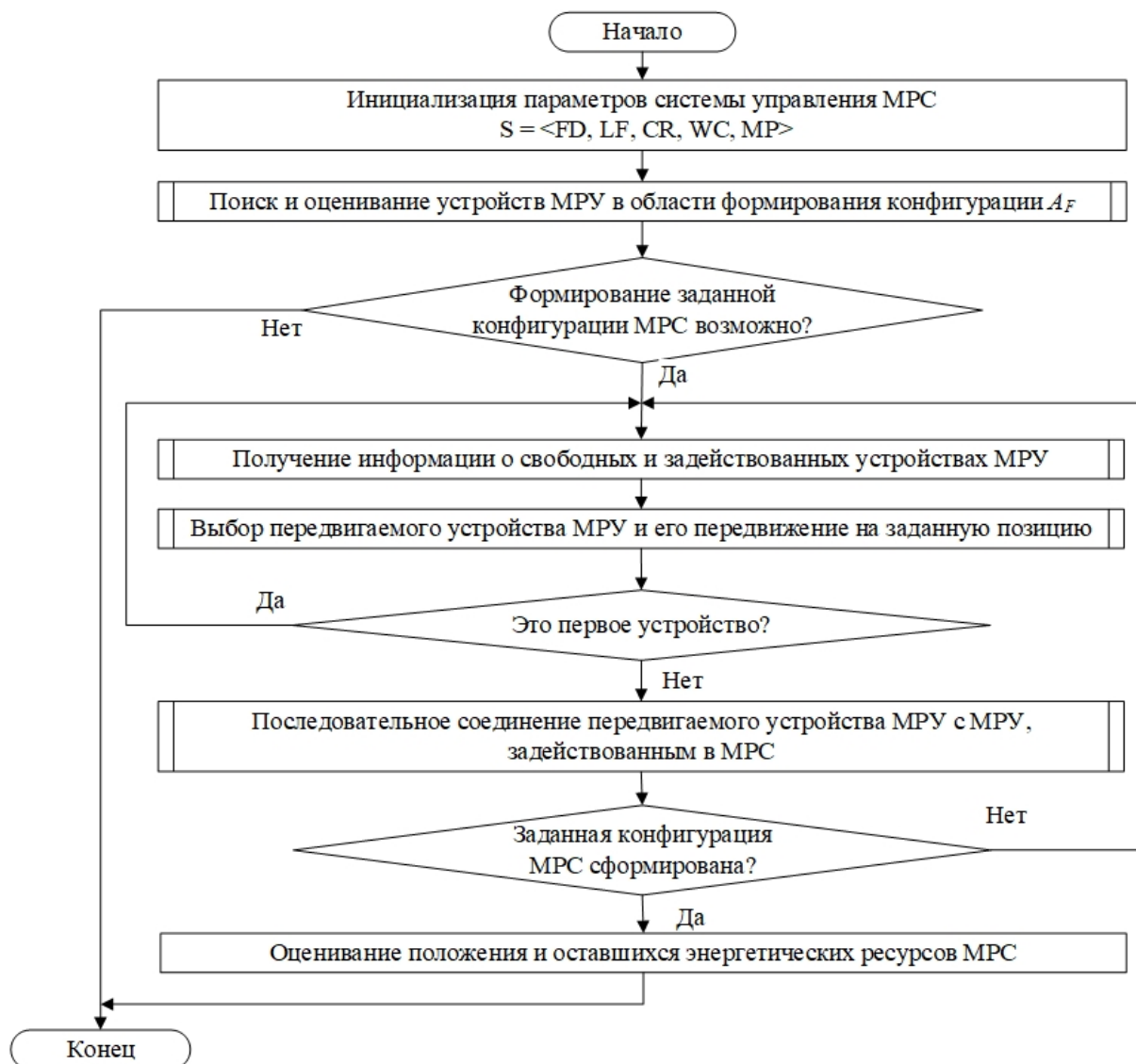


Рис. 2. Алгоритм управления последовательным формированием конфигурации MPC.

## 2. Алгоритмы управления реконфигурацией модульной робототехнической системы

Представленная на рис. 2 алгоритмическая модель формирования конфигураций MPC из отдельных МРУ, включающая в себя следующие этапы: поиск и оценка устройств МРУ, находящихся в зоне взаимодействия, получение информации о свободных и задействованных устройствах МРУ, выбор устройств МРУ и их перемещение в заданную позицию, поэтапное соединение устройств МРУ между собой в заданной последовательности.

Процесс реализации данной алгоритмической модели включает последовательное и совместное выполнение отдельных алгоритмов, входящих в состав модели, первым из которых исполняется алгоритм поиска и оценивания положения, ориентации, состояния энергетических ресурсов МРУ, находящихся в области формирования MPC.

При первичной инициализации системы управления МРС задаются параметры формируемой конфигурации  $F^k$ , включая: количество  $K_F^k$  МРУ, необходимых для построения конфигурации, координаты и ориентацию всех устройств  $P_{Fi}^m = G_{Fi}^m = X_{Fi}^m, Y_{Fi}^m, Z_{Fi}^m, RA_{Fi}^m$ , где  $m \in [1, K_F^k]$  в области формирования конфигурации  $A_F^k$ .

Для работы алгоритма соединения МРУ необходимо знать конечную ориентацию и координаты позиции  $\{X_{Fi}^m, Y_{Fi}^m, Z_{Fi}^m, RA_{Fi}^m\}$ , в которую следует переместить текущее МРУ с номером  $m$ , а также определить номер и сторону МРУ, которой он присоединяется  $\{m, CS1_M^m\}$ , установить номер и сторону  $\{h, CS1_M^h\}$  МРУ, к которому производится присоединение. На следующем этапе начинает работу алгоритм поиска и оценивания МРУ, необходимых для построения заданной конфигурации МРС, представленный на рис. 3.

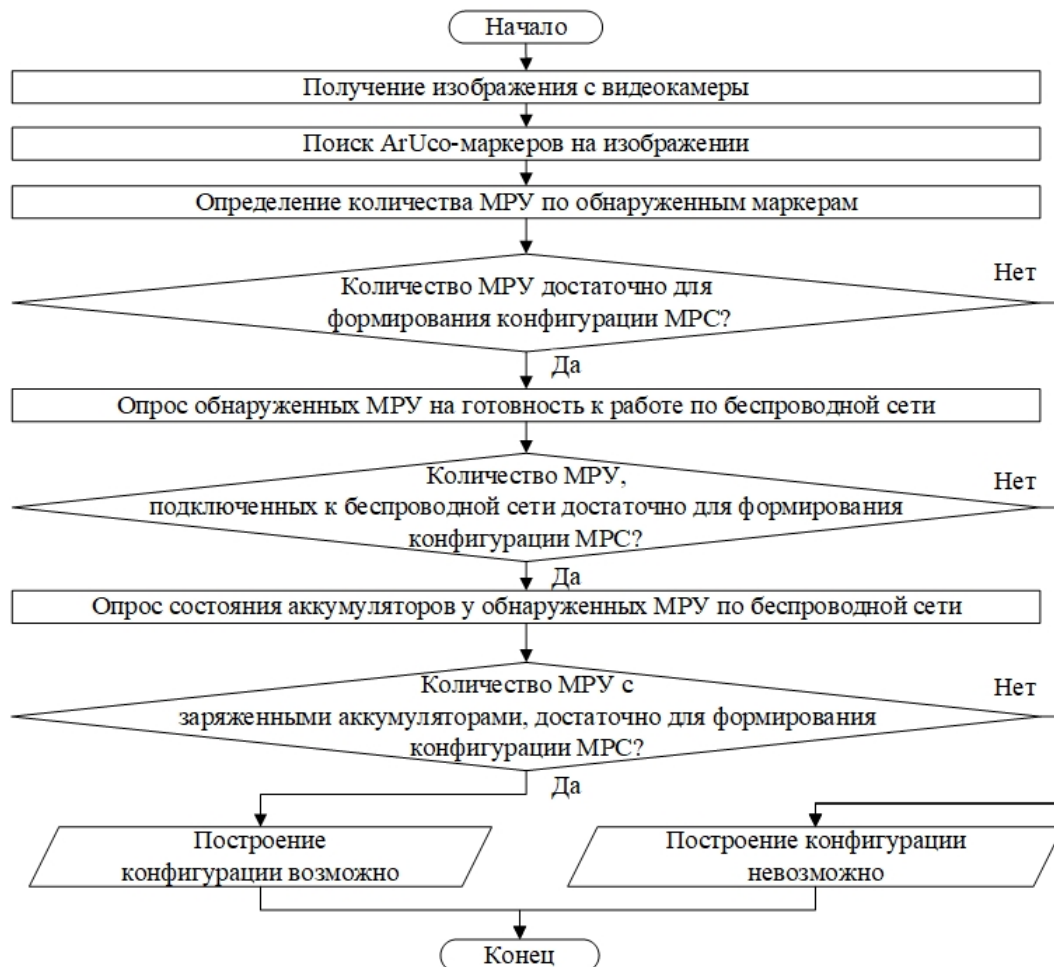


Рис. 3. Алгоритм поиска и оценивания множества МРУ в области формирования МРС.

На первом шаге данного алгоритма для получения данных о местоположении и ориентации МРУ используется модуль библиотеки OpenCV, предоставляющий алгоритмы обнаружения маркера дополненной реальности на изображении и для вычисления его пространственного местоположения. По имеющейся на МРУ соответствующей маркировке, с помощью данных программных средств, определяется положение и ориентация МРУ в системе координат изображения, получаемого с камеры, установленной над областью построения конфигурации.

Далее осуществляется опрос состояния устройств МРУ для получения информации о заряде их аккумуляторов и готовности бортовых программно-аппаратных средств МРУ к построению конфигурации МРС. Таким образом, осуществляется определение количества МРУ, обнаруженных на изображении в области формирования конфигурации МРС, подключенных к беспроводной сети и имеющих достаточный заряд аккумуляторов для участия в процессе формирования конфигурации. Если количество удовлетворяющих всем трем условиям МРУ достаточно для формирования заданной конфигурации, то алгоритм завершает свою работу с положительным ответом. Затем осуществляется получение изображений с камер, после чего производится поиск AgUco-маркеров на изображении, на заключительном шаге алгоритма выполняется оценка положений МРУ, на которых закреплены соответствующие маркеры. Затем происходит расчет пути для каждого МРУ от текущей позиции до заданной позиции МРУ, с которым производится соединение в конфигурации МРС с учетом объезда препятствий, в том числе в виде остальных МРУ.

## Заключение

По результатам экспериментов среднее время перпендикулярного соединения двух МРУ составило 96 секунд, время передвижения МРУ на позицию соединения в среднем составило 56 секунд. Процесс калибровки соосности, а также соединения портов перпендикулярного и центрального МРУ составляет не более 10 секунд. По результатам 33 экспериментов построения трех случайно расположенных на поле МРУ в конфигурацию НК среднее время работы системы составило 169 с, среднее время перемещения МРУ на позицию соединения составило 134 с. Также была повышена точность позиционирования МРУ друг относительно друга во время их соединения путем уменьшения расстояния, на которое итеративно сдвигается устройство при поиске сигнала ИК-излучателя механического соединения, до 10 мм.

Разработанные модели управления и программно-аппаратное обеспечение МРС позволяют сформировать масштабируемые транспортные средства большей грузоподъемности, способные производить реконфигурацию в три варианта базовых конструкций, обеспечивающих передвижение на опорных колесах МРУ, манипулирование внешних объектов и шагающую походку, что повышает функциональность, геометрическую и опорную проходимость модульной робототехнической системы при реализации задач перемещения грузов в динамически изменяющейся внешней среде.

**Конкурирующие интересы.** Конфликтов интересов в отношении авторства и публикации нет.

**Авторский вклад и ответственность.** Автор участвовал в написании статьи и полностью несет ответственность за предоставление окончательной версии статьи в печать.

## Список литература/References

- [1] Манько С. В., Лохин В. М., Романов М. П., “Концепция построения мультиагентных робототехнических систем”, *Вестник МГТУ МИРЭА*, **3** (2015). [Man'ko S.V., Lohin V. M., Romanov M. P., “Konceptsiya postroenija mul'tiagentnyh robototekhnicheskikh sistem”, *Vestnik MGTU MIRJeA*, **3** (2015) (in Russian)].

- [2] Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П., Диане С. А., “Перспективы применения, принципы построения и проблемы разработки мультиагентных робототехнических систем.”, *XII всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ*, Москва, 2014. [Lohin V. M., Man'ko S. V., Romanov M. P., Diane S. A., “Perspektivy primenenija, principy postroenija i problemy razrabotki mul'tiagentnyh robototekhnicheskikh sistem.”, *XII userossijskoe soveshhanie po problemam upravlenija VSPU*, Moskva, 2014 (in Russian)].
- [3] Андреев В. П., Плетенев П. Ф., “Метод информационного взаимодействия для систем распределённого управления в роботах с модульной архитектурой”, *Труды СПИИРАН*, **57:2** (2018), 134-160. [Andreev V. P., Pletenev P. F., “Metod informacionnogo vzaimodejstvija dlja sistem raspredeljonogo upravlenija v robotah s modul'noj arhitekturoj”, *Trudy SPIIRAN*, **57:2** (2018), 134-160 (in Russian)].
- [4] Андреев В. П., Ким В. Л., Подураев Ю. В., “Сетевые решения в архитектуре гетерогенных модульных мобильных роботов”, *Робототехника и техническая кибернетика*, **3:12** (2016), 23-29. [Andreev V. P., Kim V. L., Poduraev Ju. V., “Setevye reshenija v arhitekture geterogennyh modul'nyh mobil'nyh robotov”, *Robototekhnika i tehničeskaja kibernetika.*, **3:12** (2016), 23-29 (in Russian)].
- [5] Андреев В. П., Подураев Ю. В., “Функционально-модульный принцип построения гетерогенных мобильных роботов”, *Экстремальная робототехника*, **1:1** (2016), 39-49. [Andreev V. P., Poduraev Ju. V., “Funkcional'no-modul'nyj princip postroenija geterogennyh mobil'nyh robotov”, *Jekstremal'naja robototekhnika*, **1:1** (2016), 39-49 (in Russian)].
- [6] Ронжин А. Л., Павлюк Н. А., Михальченко Д. И., “Конструкция и принципы функционирования магнитно-механических коннекторов модульного робота”, *Прогресс транспортных средств и систем*, VI Международная конференция, 2018, 9-11. [Ronzhin A. L., Pavljuk N. A., Mihal'chenko D. I., “Konstrukcija i principy funkcionirovanija magnitno-mehaničeskikh konnektorov modul'nogo robota”, *Progress transportnyh sredstv i sistem*, VI Mezhdunarodnaja konferencija, 2018, 9-11 (in Russian)].
- [7] Hiroshi Kawano, “Distributed tunneling reconfiguration of cubic modular robots without meta-module's disassembling in severe space requirement”, *Robotics and Autonomous Systems*, **124** (2020).
- [8] Rubenstein M., Shen W. M., “Scalable self-assembly and self-repair in a collective of robots”, *IEEE/RSJ international conference on Intelligent robots and systems*, IEEE, 2009, 1484-1489.
- [9] Rubenstein M., Ahler C., Nagpal R., “Kilobot: A low cost scalable robot system for collective behaviors”, *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2012, 3293-3298.
- [10] Hasbulah M. H., Jafar F. A., Hisham Nordin M., Yokota K., “Towards EEG-Based Brain-Controlled Modular Robots: Preliminary Framework by Interfacing OpenVIBE, Python and V-REP for Simulate Modular Robot Control”, *Intelligent Manufacturing & Mechatronics*, Lecture Notes in Mechanical Engineering, Springer, Singapore, 2018, 415-426 (in Russian).
- [11] Manzoor, S., Cho, Y.G. & Choi, Y., “Neural Oscillator Based CPG for Various Rhythmic Motions of Modular Snake Robot with Active Joints”, *J Intell Robot Syst*, **94** (2019), 641-654.
- [12] Пшихопов В. Х., Медведев М. Ю., “Групповое управление движением мобильных роботов в неопределенной среде с использованием неустойчивых режимов”, *Труды СПИИРАН*, **5:60** (2018), 39-63. [Pshihopov V. H., Medvedev M. Ju., “Grupповое upravlenie dvizheniem mobil'nyh robotov v neopredelennoj srede s ispol'zovaniem neustojchivyh rezhimov”, *Trudy SPIIRAN*, **5:60** (2018), 39-63 (in Russian)].
- [13] Веселов Г. Е., Лебедев Б. К., Лебедев О. Б., “Гибридный алгоритм управления роем гомогенных роботов в условиях ограниченного пространства”, *Вестник РГУПС*, **2** (2020), 72-82. [Veselov G. E., Lebedev B. K., Lebedev O. B., “Gibridnyj algoritm upravlenija roem gomogennyh robotov v uslovijah ogranichenogo prostranstva”, *Vestnik RGUPS*, **2** (2020), 72-82 (in Russian)].
- [14] Демин А. В., “Адаптивное управление роботами с произвольно заданной модульной конструкцией”, *Известия Иркутского государственного университета. Серия «Математика»*, **29** (2019), 10-21. [Demin A. V., “Adaptivnoe upravlenie robotami s proizvol'no zadannoju modul'noj konstrukciej”, *Izvestija Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija «Matematika»*, **29** (2019), 10-21 (in Russian)].

## **Mathematical and algorithmic models of reconfiguration of a modular robotic system**

***N. A. Pavliuk***

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS), St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of autonomous robotic systems, 39, 14th Line, 199178, St. Petersburg, Russia.

E-mail: antei.hasgard@ias.spb.su

The relevance of a research problem is justified, which consists in development of the algorithmic models and software components for autonomous connection and interaction of the modular homogeneous robots. A review of existing modular robotic devices and modular robotic systems is presented. Developed conceptual and set-theoretic models of a modular robotic system are considered. Algorithms of physical connection and data exchange of homogeneous modular robotic devices are described in context of composition of coupled spatial structures.

*Key words: algorithm, modular robotic device, configuration, reconfiguration, modular robotic system, modular robot.*

DOI: 10.26117/2079-6641-2020-33-4-122-131

Original article submitted: 19.11.2020

Revision submitted: 19.12.2020

**For citation.** Pavliuk N. A. Mathematical and algorithmic models of reconfiguration of a modular robotic system. *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki.* 2020, **33**: 4, 122-131. DOI: 10.26117/2079-6641-2020-33-4-122-131

**Competing interests.** The author declare that there are no conflicts of interest regarding authorship and publication.

**Contribution and Responsibility.** The author contributed to this article. The author is solely responsible for providing the final version of the article in print. The final version of the manuscript was approved by the author.

*The content is published under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)*

© Pavliuk N. A., 2020

**Funding.** The work was carried out without financial support.