

А. Л. Коротков, начальник лаборатории, a.korotkov@rtc.ru,
Д. М. Королев, начальник сектора, d.korolev@rtc.ru, **Н. А. Китаев**, конструктор, n.kitaev@rtc.ru,
 Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники
 и технической кибернетики, Санкт-Петербург

Комплект модулей мобильной робототехники для макетирования и отладки алгоритмов управления¹

Предложен и описан комплект модулей мобильной робототехники, который позволяет сократить время макетирования робототехнических систем за счет крупной модульной сборки. Помимо конструктивно-компоновочных решений, авторы уделяют особое внимание схемотехнике комплекта. Показаны возможные варианты компоновки систем на основе предложенных модулей: колесной и гусеничной платформ и четырехстепенного манипулятора.

Ключевые слова: мехатронный модуль, быстросъемное соединение, мобильный робот, модульная сборка, гусеничная платформа, манипулятор, макетирование, отладка алгоритмов

Введение

Робототехника — передовое направление науки и техники, включающее в себя множество различных областей (конструирование, макетирование, программирование и др.). Одной из важнейших проблем современной робототехники является развитие образовательных программ [1] и создание качественных и надежных инструментов для обучения, которые предоставляли бы необходимое аппаратное и программное обеспечение для решения робототехнических задач [2].

Существующие на рынке предложения робототехнических комплектов (LEGO Mindstorms, Fischertechnik, Makeblock и т. д. [3–7]), несмотря на свою популярность, нередко обладают элементной базой, недостаточной для реализации сложных алгоритмов, а их общий конструктив, основанный на мелкой сборке, приводит к тому, что большая часть учебного процесса уделяется макетированию, а не изучению задач управления. Для решения существующих проблем авторы статьи предлагают комплект модулей мобильной робототехники (ММР). Простая и быстрая сборка из готовых модулей позволит сократить время, необходимое для создания роботов и, тем самым, сконцентрироваться на реализации алгоритмов управления.

Состав и описание комплекта ММР

Для физической реализации комплекта модулей используется концепция крупной сборки. Такая концепция определяется разработкой мо-

дулей в узкой линейке габаритных размеров [8] и наличием универсальных быстросъемных креплений между модулями. С учетом последнего при проектировании конструкций модулей выбраны два основных типа соединений:

- бысторазъемное резьбовое соединение, при котором поворот модулей относительно друг друга предотвращается простым и удобным в изготовлении способом — парой шип—паз;
- соединение с помощью планок Пикатинни — системы рельсового интерфейса. Конструктив планок такого типа позволяет перемещать модули вдоль рельса и жестко фиксировать их посредством винтов. Также надежную фиксацию модулей в процессе эксплуатации обеспечивают прорези на планке.

Комбинирование предложенных соединений друг с другом с помощью специальных переходников позволяет стыковать модули комплекта ММР в различных конфигурациях. Кроме того, для стыковки с крепежными элементами и каркасными конструкциями на каждом модуле имеются крепежные отверстия.

В силу предложенной архитектуры комплекта каждый модуль выполнен как полностью замкнутая система. С учетом необходимого для отработки различных алгоритмов управления функционала, которым должна обладать модель, собранная на базе комплекта ММР, разработаны следующие модули:

- *модуль системы управления* (МСУ, рис. 1) является центральным функциональным узлом в архитектуре макетируемых систем и предназначен для подключения модулей, обеспечения информационного обмена между ними, а также записи, хранения и исполнения основной программы управления;
- *модуль питания* (рис. 2) предназначен для обеспечения электропитанием всех модулей и

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках соглашения № 14.578.21.0124 о предоставлении субсидии на выполнение прикладных научных исследований и экспериментальных разработок. Уникальный идентификатор ПНИЭР — RFMEFI57815X0124.

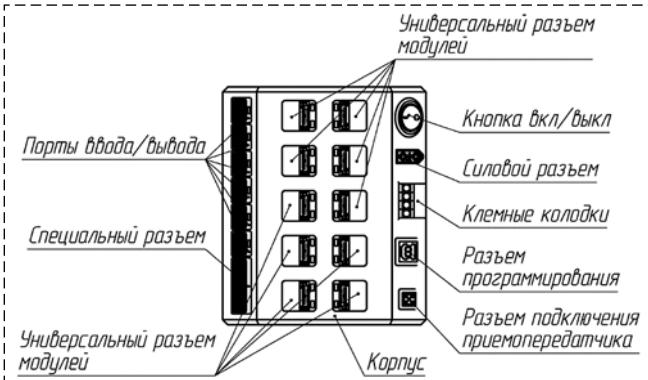


Рис. 1. Модуль системы управления (вид сверху)

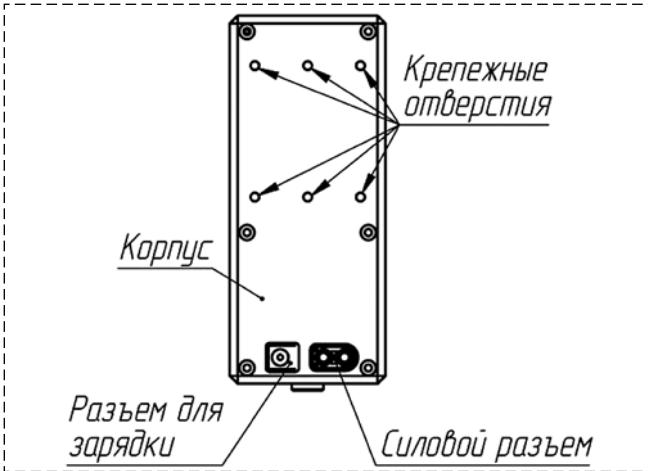


Рис. 2. Модуль питания (вид сверху)

- подключается специальным силовым кабелем к МСУ, который, в свою очередь, обеспечивает распределение электропитания по подключенным модулям-потребителям;
- **модули приводные** делятся на два типа: предназначенные для передачи вращательного момента на модули системы (рис. 3) и захватные устройства (рис. 4) для манипулирования объектами в пространстве;
 - **модуль датчиков внешней среды** (рис. 5) предназначен для измерения, преобразования и передачи на МСУ параметров окружающей среды, в состав модуля входят: датчик температуры, датчик освещенности и микрофон;
 - **модуль дальномеров** (рис. 5) предназначен для определения расстояния до поверхности в широком диапазоне расстояний, добиться которого позволяет использование датчиков двух типов — ультразвукового для определения препятствий на дальних расстояниях и

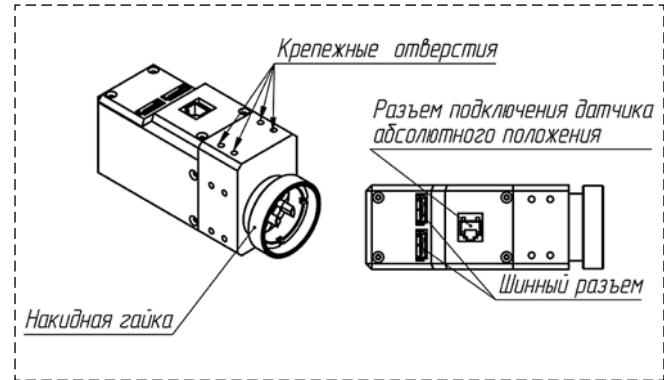


Рис. 3. Модуль приводной общего назначения

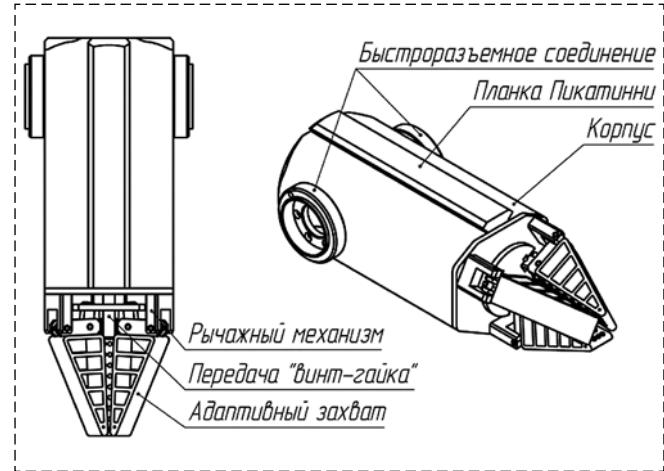


Рис. 4. Модуль захватного устройства трехпальцевый

инфракрасного для определения препятствий на коротких дистанциях;

- **модуль датчика касания и датчика линии** (рис. 6) предназначен для определения момента касания твердой поверхности и для решения

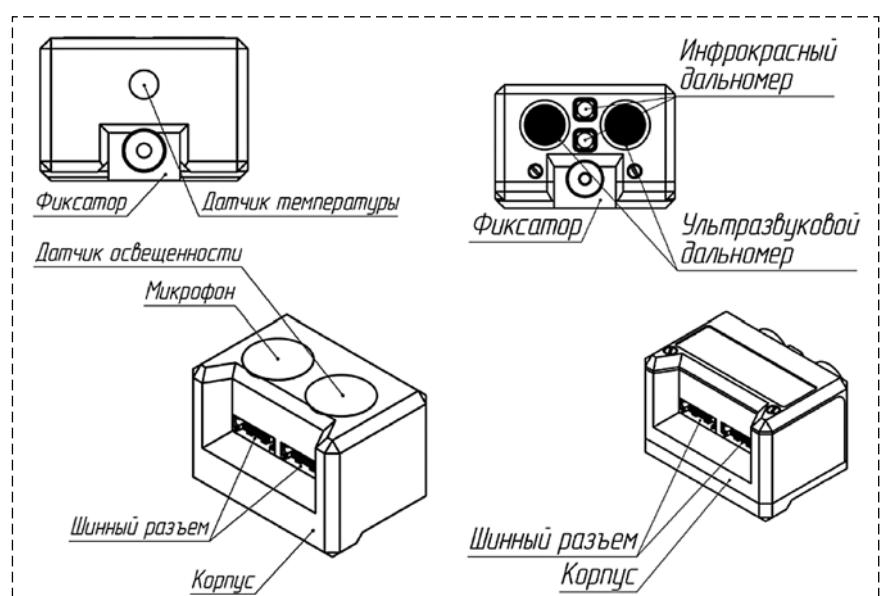


Рис. 5. Модули датчиков внешней среды (слева) и дальномеров (справа)

- классической задачи робототехники — движения вдоль линии на поверхности движения;
- **модуль индикации** (рис. 7) предназначен для световой и акустической индикации запрограммированных пользователем в МСУ событий;

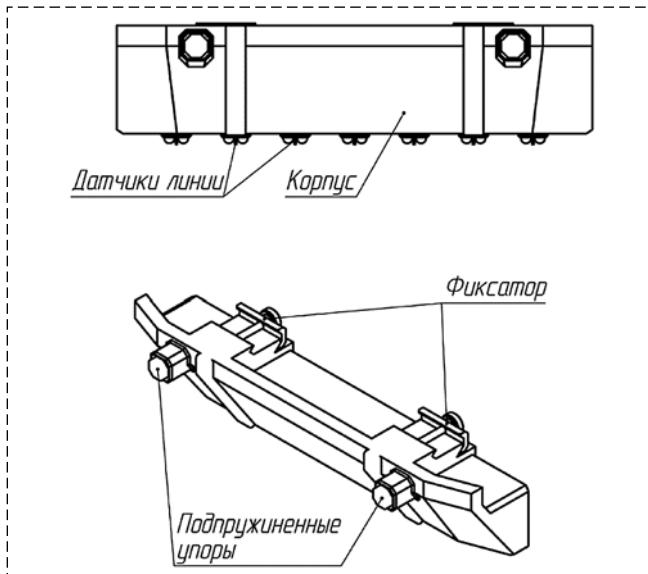


Рис. 6. Модуль датчика касания и датчика линии

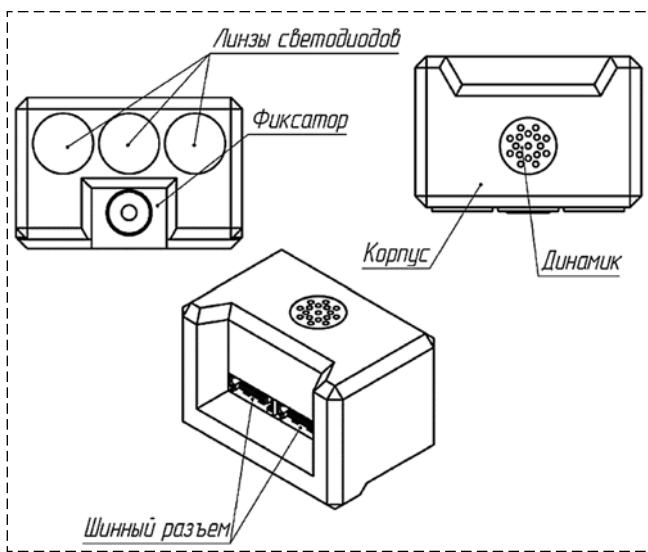


Рис. 7. Модуль индикации

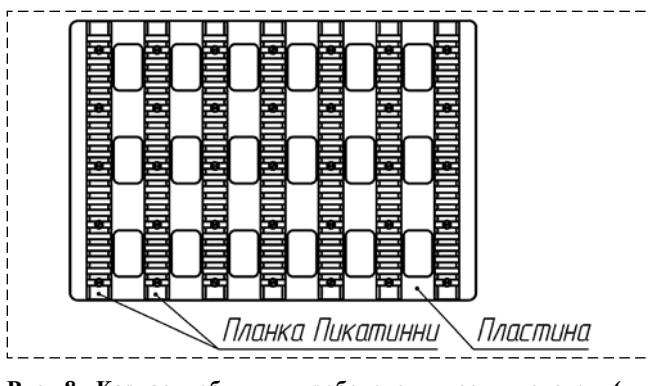


Рис. 8. Каркас мобильных робототехнических систем (вид сверху)

- **модули передачи данных** предназначены для передачи различных сигналов между МСУ и пультом управления. Для удобства пользователя предоставается возможность выбора способа дистанционного управления макетируемой системой — для этого он может использовать либо входящий в состав комплекта ММР стационарный пульт управления, либо ПК с беспроводным адаптером. Во втором случае применяется беспроводной протокол высокого уровня Wi-Fi с использованием соответствующего встроенного модуля в компьютере. Первый способ обеспечивает более высокую надежность и дальность дистанционного управления; второй способ позволяет проще и быстрее организовать управление на малых дистанциях, без использования дополнительного радиомодуля на пульте управления и без дополнительной программной настройки взаимодействия МСУ с внешним радиомодулем;
- **модуль видеокамеры** предназначен для преобразования оптического изображения в аналоговый видеосигнал и для построения на базе этого видеосигнала системы технического зрения.

Также в состав комплекта ММР вошли модули механических передач (червячной, цилиндрической и подшипникового узла), наборы крепежных элементов и каркасных конструкций (рис. 8) и набор исполнительных элементов (модуль колеса, модуль катка и гусеничная лента) для преобразования вращательного движения приводных модулей в линейное перемещение.

Основной функциональный модуль — МСУ, в нем хранится и исполняется программа управления, и через него проходит большинство информационных потоков. Модуль питания осуществляет электропитание МСУ и всех бортовых устройств макетируемой системы. Большая часть комплекта ММР вместе с МСУ объединена в общую шину питания и данных. На МСУ расположены 10 разъемов подключения к шине, к каждому из которых может быть подключена ветвь из нескольких модулей. Все 10 ветвей включены параллельно. У каждого ММР имеется два электрически соединенных разъема подключения к шине, один из которых может быть использован как вход, а другой — как выход; за счет этого внутри каждой ветви модули соединяются электрически параллельно, но при этом физически представляют собой последовательную цепь "модуль — кабель — модуль — кабель". Таким образом, всего в одну ветвь на один разъем может быть подключено до десяти ММР включительно.

Отдельный от общей шины поток информации образует канал видеоданных: сигналы с видеокамер поступают на коммутатор, где один из них селектируется и подается на видеопередатчик, после чего транслируется на пульт управления.

Робототехнические системы на основе комплекта ММР

Среди наиболее распространенных задач управления робототехническими системами (РС) [9–11] можно выделить следующие:

- управление передвигающимися на высокой скорости РС, ориентирующимиися на различные внешние маркеры (вдоль сплошной и прерывистой линии) или же на препятствия (неподвижные и подвижные), которые в автоматическом режиме должны корректировать свою траекторию в зависимости от поставленной задачи (объезд, прямое столкновение, остановка при фиксировании препятствия и т. д.);
- групповое централизованное и децентрализованное управление РС: распределение группы роботов на местности, изменение поведения группы и приоритетов индивидуальных задач в случае выявления неполадок в одном из роботов, рекогносцировка на заданном участке территории — во всех этих ситуациях (а также в случае задач первого типа) наиболее подходящими являются колесные роботы ввиду их возможностей к изменению ходовых качеств платформы;
- управление РС в условиях пересеченной местности: преодоление различных препятствий, носящих как природный, так и техногенный характер, с использованием ходовых преимуществ конкретного устройства — для таких задач подходят гусеничные роботы в силу их повышенной проходимости;
- управление РС, связанное с детектированием и доставкой конкретного объекта: определение положения заданного объекта в пространстве, его выбор из множества других объектов на основе входных данных, захват объекта наи-

более удачным из доступных способов или же определение невозможности захвата, доставка в определенную зону на основе заданных ориентиров. Для решения таких задач, как правило, необходим манипулятор.

С учетом вышеперечисленных задач управления и всех функциональных возможностей комплекта ММР (при установке соответствующих датчиков и другого приборного навесного оборудования) на его основе доступно макетирование трех базовых РС: колесной, гусеничной и четырехстепенного манипулятора.

Общий вид колесной РС с четырьмя приводными колесами показан на рис. 9. Конструктивно приводная часть РС состоит из четырех модулей привода общего назначения 14, закрепленных на каркасе мобильной РС 1. Крепление исполнительных модулей колеса 10 к модулю привода общего назначения осуществляется через модули подшипникового узла 15. Для защиты модулей привода общего назначения от случайных столкновений с препятствиями и для движения вдоль линии на нижнюю часть каркаса мобильных РС установлены два модуля датчика касания и датчика линии 11. Для защиты модулей на каркасе мобильной РС от песка, гравия и т. д. над колесами установлены крылья 2. Планка Пикатинни на крыле позволяет установить модули индикации 3, модули видеокамеры 4 и модули дальномеров 5 перпендикулярно направлению движения робота (перечисленные модули установлены на передней и задней частях РС). Для осуществления кругового обзора модуль камеры 4 на передней части установлен через планку Пикатинни 16 на сервопривод 13. Сервопривод устанавливается на кронштейн усиленный 12. Передача видеоинформации на пульт управления осуществляется через модуль

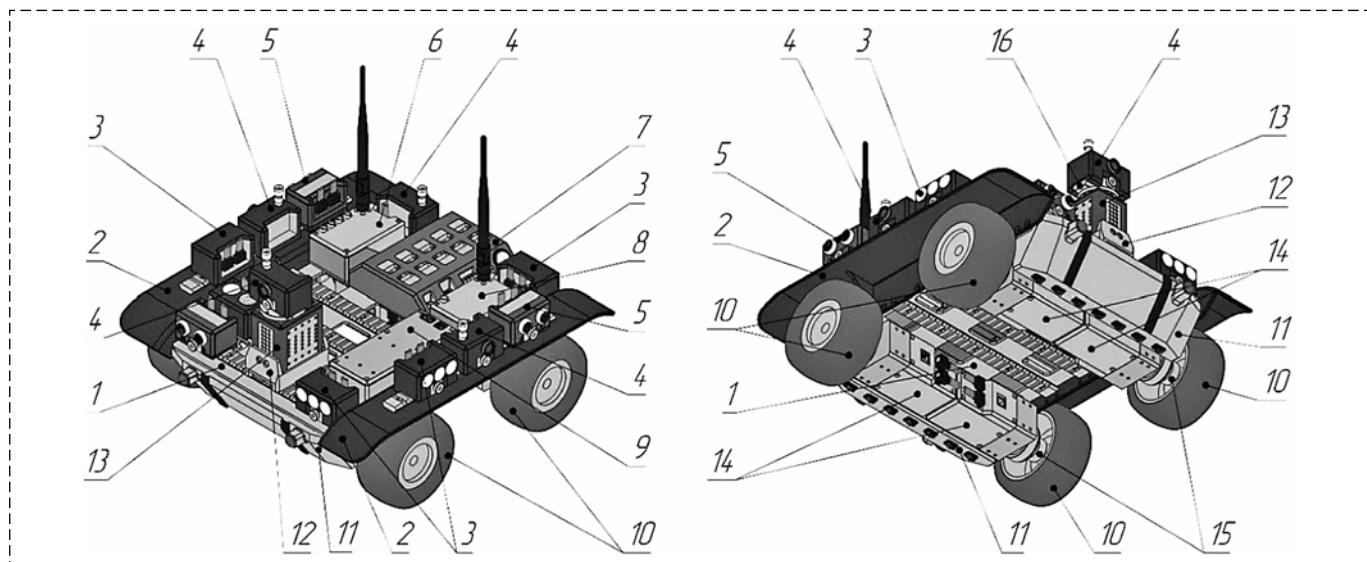


Рис. 9. Колесная РС с четырьмя приводными колесами

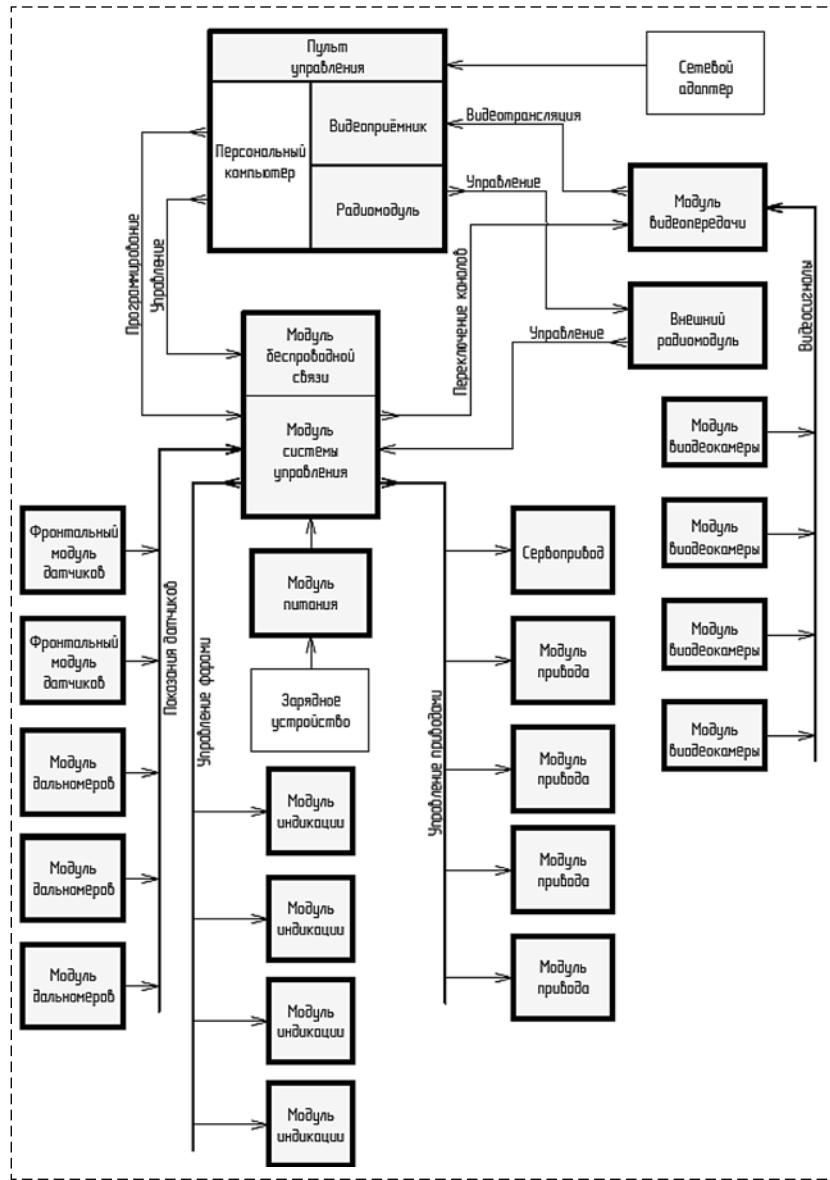


Рис. 10. Структурная схема колесной РС с четырьмя приводными колесами

видеопередатчика 6, обмен управляющими данными происходит по радиоканалу через модуль приемопередатчика 8. Управление и программирование РС реализуется через МСУ 7. Электропитание РС осуществляется модулем питания 9.

Структурная схема колесной РС с четырьмя приводными колесами представлена на рис. 10. Связь между пультом управления и МСУ может осуществляться по двум каналам: первый использует модуль приемопередатчика пульта управления и МСУ, второй — встроенные в МСУ и ПК пульта управления модули беспроводной связи по протоколу Wi-Fi.

Общий вид гусеничной РС с двумя приводными катками показан на рис. 11. Конструктивно приводная часть состоит из двух приводных и двух пассивных модулей катков. Гусеничные ленты 5 приводятся в движение приводными модулями катков 16 через впадины на внутренней поверхности гусеничной ленты. Приводные модули катков закреплены на модулях подшипникового узла 3 и приводятся в движение модулями приводными общего назначения 20, установленными на каркасе мобильной РС 1, через модули цилиндрической передачи 19. Пассивные модули катков закреплены на модулях подшипникового узла и устанавливаются на кронштейны угловые 2, которые фиксируются на каркасе фиксаторами

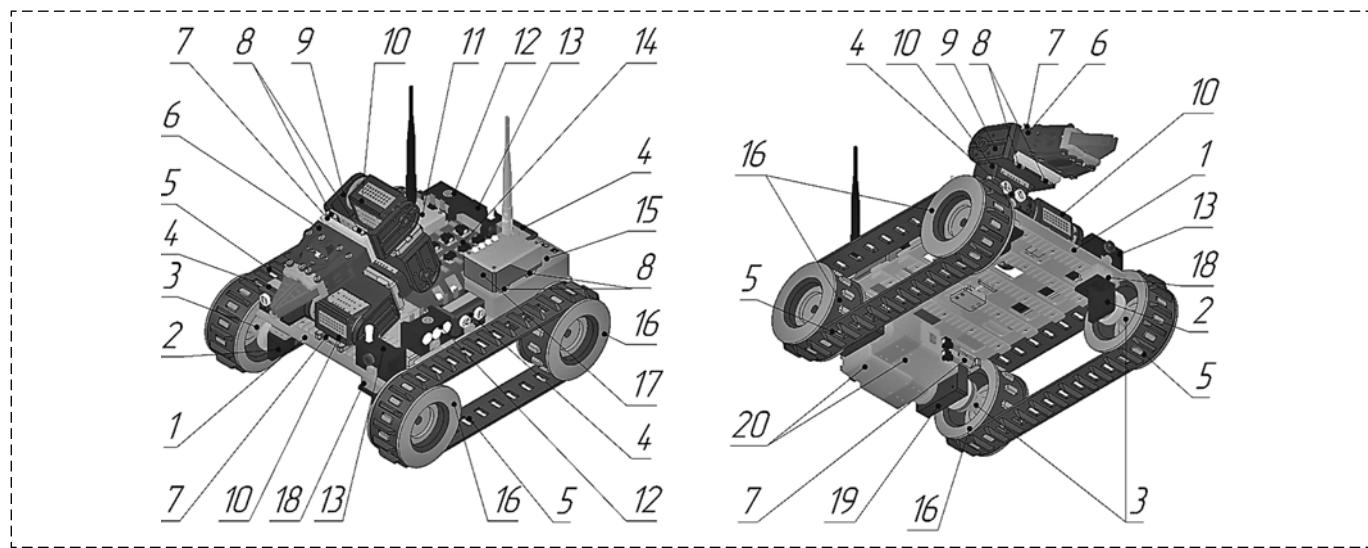


Рис. 11. Гусеничная РС с двумя приводными катками

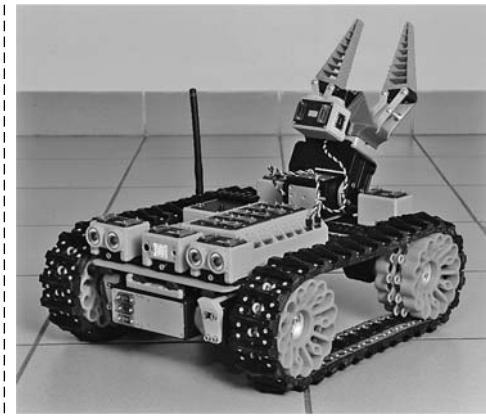


Рис. 12. Макет гусеничной РС на базе комплекта ММР

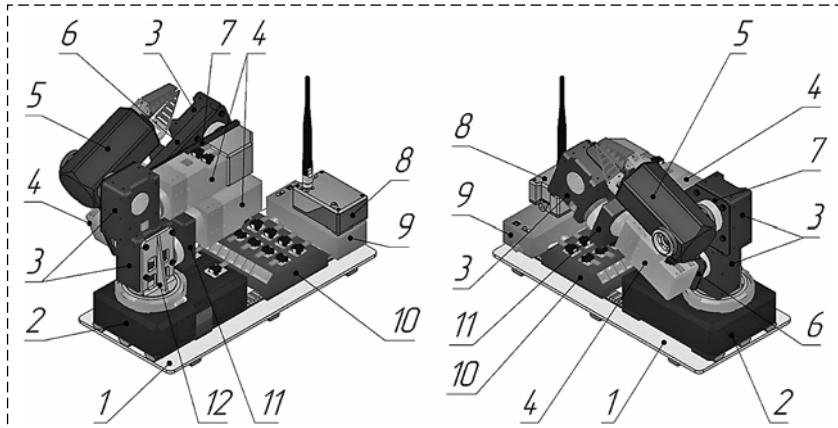


Рис. 13. Четырехступенчатая манипуляционная РС

одинарными 18. На задней части платформы установлены: модуль видеокамеры 13, модуль индикации 12 и модуль дальномеров 4; в передней части — модуль дальномера и модуль видеокамеры.

В центральной части платформы установленна манипуляционная система, которая обладает тремя степенями подвижности и модулем захватного устройства двухпальцевым 6. Конструктивно манипуляционная система состоит из модулей сервопривода 10, на которые установлены фиксаторы двойные 7 для возможной жесткой фиксации следующего исполнительного звена. На пассивные и приводные фланцы модулей сервопривода закреплены кронштейны сервопривода 9 с установленными на них планками Пикатинни 8. Так же на платформе установлены необходимые для работоспособности РС модули: МСУ 14, модуль приемопередатчика 11, модуль питания 15, с закрепленными планками Пикатинни для установки модуля видеопередатчика 17. Организация управления и электропитания гусеничной РС осуществляется аналогичным колесной РС образом.

Макет гусеничной РС на базе изготовленного в ЦНИИ РТК комплекса ММР представлен на рис. 12. Масса макета составляет 7,5 кг, общая грузоподъемность — 0,7 кг (из них грузоподъемность манипулятора — 0,2 кг). Робот способен перемещаться со скоростью до 0,26 м/с и преодолевать препятствия высотой до 40 мм и углом наклона до 30°.

Общий вид четырехстепенной манипуляционной РС показан на рис. 13. На каркасе манипуляционной РС 1 закреплены МСУ 11 и

модуль питания 10, на который установлен модуль приемопередатчика 9. В качестве первого вращательного шарнира используется модуль основания манипулятора 2 с зафиксированным на нем кронштейном манипуляционной РС 12 для фиксации выходного звена второй вращательной степени манипулятора, в роли которой выступает модуль червячной передачи 3.

Модуль червячной передачи второго звена манипулятора приводится в движение модулем приводным общего назначения 4 через модуль цилиндрической передачи 11. На выходном валу модуля червячной передачи закреплен каркас первого звена манипуляционной РС 7. Выход-

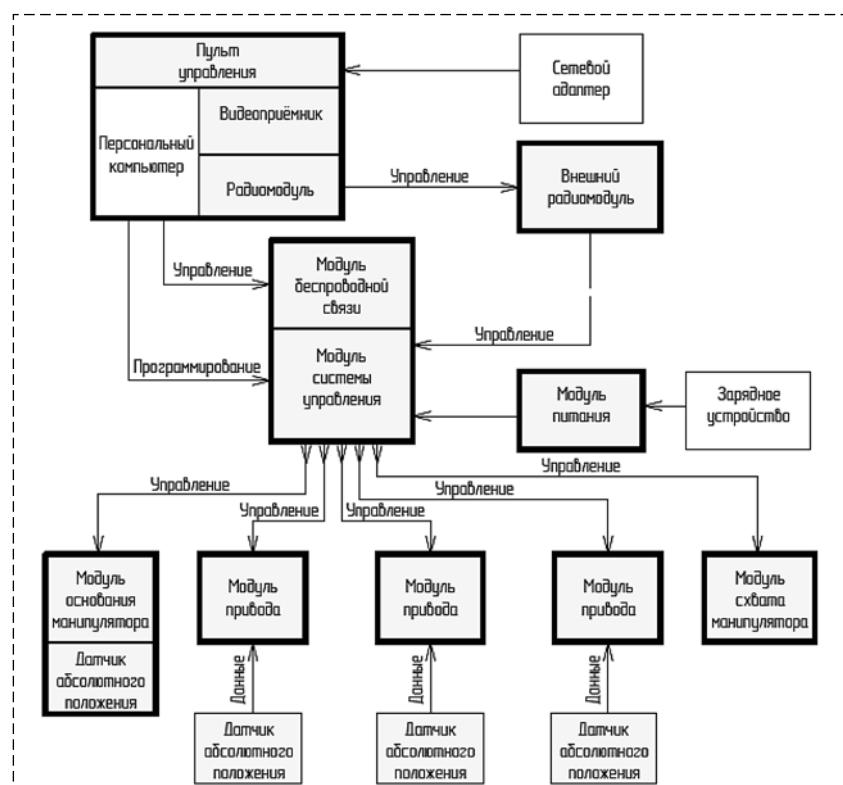


Рис. 14. Структурная схема четырехступенчатой манипуляционной РС

ным шарниром третьей вращательной степени по аналогии со вторым звеном является модуль червячной передачи, приводящийся в движение модулями 4 и 11. На выходном валу третьего звена закреплен каркас второго звена манипуляционной РС 6, выходным модулем которого служит также модуль червячной передачи. Конечным модулем является модуль захватного устройства трехпальцевый 5.

Структурная схема четырехстепенной манипуляционной РС представлена на рис. 14. Манипуляционная РС собрана по схеме В-В-В-В (четыре вращательных степени) и имеет сферическую рабочую зону.

Заключение

Главный принцип, которым руководствовались авторы при разработке комплекта ММР, состоял в следующем: сочетание достоинств крупной модульной сборки (скорость и простота макетирования) с необходимой для отработки современных алгоритмов электронной оснасткой в виде мощного контроллера и различных качественно исполненных датчиков. В результате оснащение макетируемых робототехнических систем соответствующими модулями датчиков позволяет решать задачи робототехники, связанные с движением в ограниченных пространствах и в условиях недостаточной видимости, а наличие модулей видеокамеры способствует отработке алгоритмов движения с использованием технического зрения.

Дальнейшие исследования будут направлены на доработку программных решений комплекта и его апробацию. Комплект ММР будет полезен как в начальных образовательных учреждениях для обучения детей основам конструирования и

робототехники, так и среди старшеклассников и студентов для реализации и отладки различных алгоритмов управления. Более того, предлагаемое решение может стать эффективным инструментом в разработке и прототипировании мобильных робототехнических платформ и промышленных робототехнических комплексов квалифицированными специалистами в исследовательских институтах и на производственных предприятиях.

Список литературы

1. Alvarez I. VEX Robotics: STEM Program and Robotics Competition Expansion into Europe // Research and Education in Robotics — EUROBOT 2011. Springer, 2011. P. 10–16.
2. Филиппов С. А. Робототехника для детей и родителей. СПб.: Наука, 2013. 319 с.
3. Baichtal J. Hacking Your LEGO Mindstorms EV3 Kit. Que Publishing, 2015. 320 p.
4. Ferrari M., Ferrari G. Building Robots with LEGO Mindstorms NXT. Syngress, 2011. 480 p.
5. Cuellar M. P., Pegalajar M. C. Design and implementation of intelligent systems with LEGO Mindstorms for undergraduate computer engineers // Computer Applications in Engineering Education. 2014. № 22. P. 153–166.
6. Белиновская Л. Г., Белиновский А. Е. Программируем микрокомпьютер NXT в LabVIEW. ДМК Пресс, 2013. 280 с.
7. Bagnall B. Maximum LEGO NXT: Building Robots with Java Brains 3rd. Variant Press, 2012. 528 p.
8. Thai C. N., Paulishen M. Using robotis bioloid systems for instructional robotics // Proc. of IEEE Southeastcon. IEEE, 2011. P. 300–306.
9. Kee D. Educational Robotics Primary and Secondary Education // IEEE Robotics & Automation Magazine. 2011. № 18 (4). P. 16–19.
10. Халамов В. Н., Сагитдинова Н. А. Fischertechnik — основы образовательной робототехники: учеб.-метод. пособие. Челябинск, 2012. 40 с.
11. Correll N., Waines C., Slaby S. A One-Hour Curriculum to Engage Middle School Students in Robotics and Computer Science Using Cubelets // Distributed Autonomous Robotic Systems. Springer, 2014. P. 165–176.

Modular Mobile Robotic Kit for Prototyping and Debugging of Control Algorithms

A. L. Korotkov, a.korotkov@rtc.ru, **D. M. Korolev**, d.korolev@rtc.ru, **N. A. Kitaev**, n.kitaev@rtc.ru,
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
Saint-Petersburg, 194064, Russian Federation

*Corresponding author: Korotkov A. L., head of laboratory,
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
Saint-Petersburg, 194064, Russian Federation, e-mail: a.korotkov@rtc.ru*

Accepted on November 17, 2017

Rising popularity of robotics in education leads to necessity for high-quality tool for modern training programs — robotic kit. Most of the existing solutions do not have sufficient element base for the correct execution of complex algorithms. Moreover, due to a large number of components and tiny connectors a large part of the learning process is spent on prototyping, not on the study of control problems. The authors propose a new kit for mobile robotics, which key feature

is modularity. The kit includes control system module, autonomous power supply, power drive modules, communication module, and different mechanical transmission modules such as bearing unit, cylindrical gear, worm gear and angular bracket. Implementation of the most common control tasks (collision avoidance, path planning, etc.) is possible due to special instrumentation modules, which include light, temperature and microphone sensors; a touch sensor and a line sensor; an ultrasonic and infrared distance sensor. In addition to constructive configuration solutions, authors focus special attention on the circuit design of the future kit. On base of the proposed kit it is possible to prototype such robotic systems as wheeled and tracked platforms and robotic arm, which models and structural diagrams are shown in the article. The effectiveness of the developed kit is proved by powerful functional modules and modular construction in general that will reduce the time needed for prototyping robotic systems, and will allow focusing directly on the debugging of control algorithms.

Keywords: mobile robotic, modular kit, mechatronic module, quick coupling, tracked platform, wheeled platform, robotic arm, prototyping; algorithmic debugging

Acknowledgements: This research is supported by the Ministry of Education and Science of Russia (an agreement № 14.578.21.0124 on granting for the implementation of applied scientific research and experimental development). Unique identifier of ASRED — RFMEFI57815X0124.

For citation:

Korotkov A. L., Korolev D. M., Kitaev N. A. Modular Mobile Robotic Kit for Prototyping and Debugging of Control Algorithms, *Mekhatronika, Avtomatizatsija, Upravlenie*. 2018, vol. 19, no. 3, pp. 175–182.

DOI: 10.17587/mau.19.175-182

References

1. **Alvarez I.** VEX Robotics: STEM Program and Robotics Competition Expansion into Europe, *Research and Education in Robotics — EUROBOT 2011*, Springer, 2011, pp. 10–16.
2. **Filippov S. A.** *Robototekhnika dlja detej i roditelej* (Robotics for children and parents), SPb., Nauka, 2013, 319 p. (in Russian).
3. **Baichtal J.** Hacking Your LEGO Mindstorms EV3 Kit, Que Publishing, 2015, 320 p.
4. **Ferrari M., Ferrari G.** Building Robots with LEGO Mindstorms NXT, Syngress, 2011, 480 p.
5. **Cuéllar M. P., Pegalajar M. C.** Design and implementation of intelligent systems with LEGO Mindstorms for undergraduate computer engineers, *Computer Applications in Engineering Education*, 2014, no. 22, pp. 153–166.
6. **Beliovskaja L. G., Beliovskij A. E.** *Programmirem mikrokompyuter NXT v LabVIEW* (Programming microcomputer NXT with LabVIEW), DMK Press, 2013, 280 p. (in Russian).
7. **Bagnall B.** Maximum LEGO NXT: Building Robots with Java Brains 3rd, Variant Press, 2012, 528 p.
8. **Thai C. N., Paulishen M.** Using robotis bioloid systems for instructional robotics, *Proceedings of IEEE Southeastcon*, IEEE, 2011, pp. 300–306.
9. **Kee D.** Educational Robotics Primary and Secondary Education, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 2011, no. 18 (4), pp. 16–19.
10. **Halamov V. N., Sagritdinova N. A.** *Fischertechnik — osnovy obrazovatelnoj robototekhniki: ucheb.-metod. posobie* (Fischertechnik — basics of educational robotics: training manual), Chelyabinsk, 2012, 40 p. (in Russian).
11. **Correll N., Wailes C., Slaby S.** A One-Hour Curriculum to Engage Middle School Students in Robotics and Computer Science Using Cubelets, *Distributed Autonomous Robotic Systems*, Springer, 2014, pp. 165–176.



28—30 мая 2018 г. в Санкт-Петербурге
на базе АО "Концерн ЦНИИ Электроприбор" состоится
Юбилейная XXV Санкт-Петербургская
МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ИНТЕГРИРОВАННЫМ НАВИГАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ
(МКИНС 2018)



Председатель программного комитета —
Академик РАН, проф. **В. Г. Пешехонов**

Тематика конференции

- Инерциальные датчики, системы навигации и ориентации
- Интегрированные системы навигации и управления движением
- Глобальные навигационные спутниковые системы
- Средства гравиметрической поддержки навигации

На конференции не рассматриваются вопросы, затрагивающие военно-техническое сотрудничество, разработки военных технологий и образцов вооружений и военной техники. Программный комитет считает полезным представление обзорных докладов и докладов молодых ученых (до 33 лет).

Подробную информацию о конференции см. сайте:
<http://www.elektropribor.spb.ru/icins2018/rindex>