

11. The piezoelectric receiver SPL: AS SU 1534759 USSR MKI H04R17/02 / A. A. Zlatkin, O. V. Kruglov, O. M. Loot, V. M. Sharapov (USSR). No. 4179437/24-10; appl. 13.01.1987; publ. 01.07.1990, Official Bulletin "Inventions. Utility Models" no. 1. (In Russ.)
12. The piezoelectric sound receiver: AS SU 718949 (USSR) MKI N04R17/02 / G. T. Levchenko, V. N. Banks, A. A. Preez (USSR). No. 2674556/18-10, appl. 09.10.1978, publ. 28.02.1980, Official Bulletin "Inventions. Utility Models" no. 8. (In Russ.)
13. The piezoelectric transducer of mechanical quantities: Patent no. UA 34316 Ukraine: IPC G01L1/16, G01P15/09 / Yu. G. Lega, N. V. Saenko, V. M. Sharapov, M. P. Musienko. No. 99063571; appl. 24.06.1999; publ. 15.02.2001, Official Bulletin "Industrial Property" no. 1/2001.
14. The piezoelectric transducer of mechanical quantities: Patent UA № 34318 Ukraine: IPC G01L1/16, G01P15/09 / Yu. B. Shevchenko, G. Lega, N. V. Saenko, V. M. Sharapov, M. P. Musienko (UA). No. 99063571; appl. 24.06.1999; publ. 15.02.2001, Official Bulletin "Industrial Property" no. 1.
15. Segall A. G., Soloviev M. A., Petrov A. A. HIGHLY piezoceramic materials and piezocomposites of "Elpa" for piezoelectric transducers and sensors for different purposes. Available at: http://www.elpapiezo.ru/High_anisotropic_materials.pdf (accessed 15 July 2014).
16. Sharapov V. M., Sotula Zh. V. Pezoelektricheskie preobrazovateli. Novye tekhnologii proektirovaniya [Piezoelectric converters. New technologies of design]. *Elektronika NTB* [NTB Electronics], 2012, issue 5, pp. 96–102
17. Sharapov V. M., Musienko M. P., Sharapova Ye. V. *Pezoelektricheskie datchiki* [Piezoelectric sensors]. Moscow, Tekhnosfera, 2006. 632 p. ISBN 5-94836-100-4.
18. Sharapov V. M., Musienko M. P. Novoe pokolenie pezo-keramicheskikh datchikov fizicheskikh velichin [New generation piezo-ceramics of sensors of physical quantity]. *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoy apparature* [Technology and designing in the electronic equipment], 2005, no. 5, pp. 15–17.
19. Double bimorph electromechanical element: pat. US № 6437485 USA: IPC H01L41/09/ S. Johansson. No. US09/739,906; declared 20.12.2000, publication date 20.08.2002.
20. Karpelson M., Wei G., Wood R. J. Driving high voltage piezoelectric actuators in microrobotic applications. *J. Sensors and Actuators A: Phys.*, 2012, doi:10.1016/j.sna.2011.11.035.
21. Market for piezoelectric ceramic and polymer devices to almost double in five years, retrieved July 14, 2014. Available at: http://www.innoresearch.net/Press_Release.aspx?id=12 (accessed 02.07.2014).
22. Piezoelectric bimorph type actuator: pat US no. 5382864 USA: IPC H02N2/04, H02N2/02, H01L41/09/ Atsushi Morikawa, Jiro Inoue, Jun Tabota. No. US 08/014,895; declared 8.12.1993; publication date 17.01.1995.
23. Piezo-electric bimorph type transducer: pat. US no. 4367504 USA: IPC H01L41/09, G11B5/53, G11B5/592/ Takeo Seki, Yukio Shinoda, Akio Kumada. No. US06/250,432; declared 2.04.1981; publication date 04.01.1983.
24. Piezoelectric bimorph switch: pat. US no. 20110120843 USA: IPC H01H57/00/ Olaf Wunnicke, Klaus Reimann. No. US13/000,256; declared 18.06.2009, publication date 26.05.2011.
25. Wood R. J., Steltz E., Fearing R. S. Optimal energy density piezoelectric bending actuators. *J. Sensors and Actuators A: Phys.*, 2005, no. 119, pp. 476–488.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ

Статья поступила редакцию 25.07.2014, в окончательном варианте 07.12.2014.

Ермишин Константин Владимирович, аспирант, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 105007, Российская Федерация, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, e-mail: konstantin.ermishin@gmail.com

Воротников Сергей Анатольевич, кандидат технических наук, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 105007, Российская Федерация, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, e-mail: vorotn@bmstu.ru

Выборнов Николай Анатольевич, кандидат физико-математических наук, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: do_vybornov@aspu.ru

В статье рассматриваются вопросы построения системы управления образовательным мобильным роботом, в частности – автономным мобильным роботом на базе учебного робототехнического конструктора. Предлагается концепция, в рамках которой учебно-методический комплекс по робототехнике строится на базе робототехнического конструктора и навигационного программно-аппаратного комплекса, применяемого при решении задач управления мобильными роботами в промышленности. Благодаря этому, с использованием доступной элементной базы робототехнического конструктора и функционала устройств управления, которые применяются в промышленности, становится возможным в рамках учебного процесса осуществлять разработку прототипов робототехнических комплексов, нацеленных на решение различных прикладных задач. Также в статье исследованы вопросы реализации навигационного программно-аппаратного комплекса, а именно – архитектуры алгоритмического программного обеспечения, удовлетворяющего условиям повышенной надежности и возможности установки на различные аппаратные платформы.

Ключевые слова: автономная навигация мобильных роботов, построение карты местности и локализация объектов, учебные робототехнические комплексы, программно-аппаратные комплексы для управления роботами

CONTROL SYSTEM OF EDUCATIONAL MOBILE ROBOT

Ermishin Konstantin V., post-graduate student, Bauman Moscow State Technical University, 5 2nd Baumanskaya St., Moscow, 105007, Russian Federation, e-mail: konstantin.ermishin@gmail.com

Vorotnikov Sergey A., Ph.D. (Engineering Science), Bauman Moscow State Technical University, 5 2nd Baumanskaya St., Moscow, 105007, Russian Federation, e-mail: vorotn@bmstu.ru

Vybornov Nikolay A., Ph.D. (Physics and Mathematics), Astrakhan State University, 20 a Tatishchev St., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: do_vybornov@aspu.ru

The article describes a control system of autonomous educational mobile robot and methods of its usage in educational process. Authors describe a conception of educational process, based on ordinary educational robotic kit and industrial controller for autonomous mobile robot navigation. Thereby it allows to develop a prototypes of different service robots within an educational process, by combining simplicity of robotic kits and functionality of navigation controller. In addition, the article describes how to implement navigation hardware and software complex – namely, the algorithmic software architecture that satisfies the conditions of high reliability and portability to different hardware platforms.

Keywords: autonomous navigation of mobile robots, algorithms SLAM, hardware and software robotic control systems, robots educational robotic systems

Введение. С каждым годом различные робототехнические решения становятся ближе к человеку, увеличивается доступность робототехнических комплексов и количество их применений в повседневной жизни. По мере роста вычислительной мощности компьютеров и доступности аппаратных составляющих роботов (таких как сенсорные устройства, мультимедийные системы, средства связи и исполнительные механизмы), робототехника становится все более применимой для решения различных прикладных задач, в том числе и для образовательных целей.

С появлением новых технологий существенно повышается не только уровень прикладных задач, которые могут решаться робототехническими комплексами, но и сложность

их разработки. Это вынуждает создателей роботов применять модульный принцип разработки систем, в частности использовать различные управляющие модули для реализации каких-либо функций в отдельности, таких как автономная навигация, техническое зрение, распознавание и синтез речи и т.п.

На сегодняшний день в данной области намечается разрыв между уровнями учебной робототехники и доступных технологий, используемых в практико-ориентированных проектах. Поэтому целью данной статьи является демонстрация продуктивности подхода, предложенного авторами к построению образовательного процесса по робототехнике для учащихся старших классов школ и студентов вузов. В качестве основного направления исследований выбрана область автономных мобильных сервисных роботов, представляющая на сегодняшний день наибольший интерес в исследовательском и практическом плане. В статье на конкретном примере рассмотрено построение адаптивного *мобильного робота* (МР) на основе учебного робототехнического конструктора и навигационного контроллера, разработанного авторами.

Общая характеристика выпускаемых робототехнических наборов. В последнее время на мировом рынке появилось большое количество разнообразных *робототехнических наборов* разной сложности, предназначенных для использования в образовательном процессе для всех возрастных категорий – от младших школьников до аспирантов технических университетов. Примеры таких комплексов приведены на рис. 1.

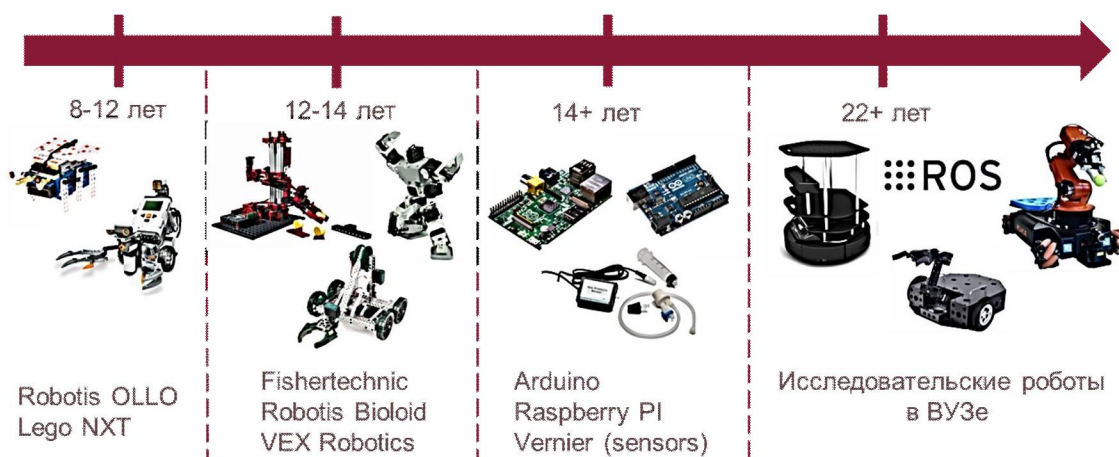


Рис. 1. Примерное распределение распространенных робототехнических наборов по возрастным категориям

Робототехнические наборы по своим функциональным возможностям существенно отличаются друг от друга – в зависимости от производителя и возрастной категории, на которую они ориентированы. Так, например, для начальной и средней школы на сегодняшний день наиболее востребованы наборы Lego NXT и Robotis OLLO, применяемые для вовлечения учащихся в инженерное творчество [1]. Подобные наборы отличаются простотой в освоении и эксплуатации, но имеют закрытую архитектуру и значительно ограничены в плане возможностей модернизации их аппаратной и программной составляющей.

Основной областью применения образовательных робототехнических наборов является изучение основ информационных технологий и подготовка к робототехническим соревнованиям. Вне зависимости от производителя и типа набора, методики применения робототехники в образовательном процессе и соревновательной деятельности обычно идентичны. Чаще всего основной акцент в образовательном процессе делается на изучение основ алгоритмов функционирования роботов, применяемых в соревновательных задачах. По-

сколько класс решаемых задач достаточно узок, то большинство наиболее распространенных робототехнических наборов, как правило, схожи по своим функциональным возможностям, а также и по комплектации.

Наибольший интерес в отношении изучения основ робототехники представляют робототехнические наборы, ориентированные на возрастную категорию 12–14 лет и старше. К ним можно отнести модели робототехнических конструкторов Robotis Bioloid [9], Fishertechnik [10], Tetrrix [11], VexRobotics [12]. В отличие от приведенных выше моделей, они отличаются расширенными функциональными возможностями и обладают более гибкой и открытой архитектурой. Это позволяет пользователю не только разрабатывать на их основе роботов согласно инструкции от производителя, но и усовершенствовать их с помощью различных дополнительных комплектующих, повышающих функциональные возможности робота.

Как правило, подобные наборы модернизируются пользователями путем добавления различных дополнительных программируемых контроллеров или датчиков, позволяющих расширить функционал и область применения робототехнического набора в учебных целях. Так, например, путем объединения робототехнических наборов с цифровыми лабораториями Vernier [13] становится возможным осуществлять исследовательскую деятельность и проводить эксперименты в рамках различных естественнонаучных дисциплин. Применение различных программируемых контроллеров, таких как Arduino или Raspberry PI, дает возможность увеличить вычислительную мощность робототехнических наборов, а также позволяет подключать к ним дополнительные сенсорные устройства и исполнительные механизмы [14]. Данный подход и подобные наборы были опробованы авторами при работе с абитуриентами, поступающими в МГТУ имени Баумана по программе «Шаг в будущее».

Некоторые из этих наборов послужили конструктивной базой для создания прототипов разнообразных МР и робототехнических комплексов (РТК) (рис. 2). Однако реализация подобных проектов сопряжена со значительными техническими сложностями, связанными как с выбором необходимой аппаратной платформы, так и с невозможностью реализации современных высокоуровневых алгоритмов (автономной навигации, технического зрения, манипулирования объектами и др.). Возможностей штатных устройств (сенсоров и контроллеров), входящих в состав указанных конструкторов, явно недостаточно для решения подобных задач. В то же время именно эта функциональная группа алгоритмов представляет особый интерес для организации образовательного процесса технического университета и в инженерной деятельности в области робототехники в целом.

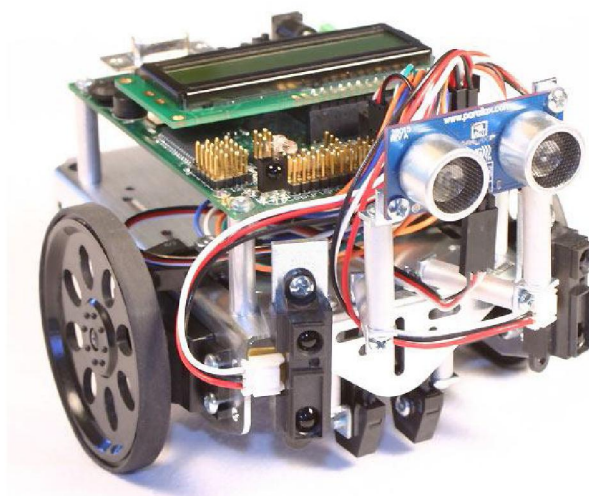


Рис. 2. Мобильный образовательный робот IntelliBrain-Bot (<http://www.ridgesoft.com/>)

ы является создание комплекса инструментальных средств, который, основываясь на открытой аппаратно-программной архитектуре конструкторов, расширял бы их функциональные возможности в области решения высокоуровневых прикладных задач. Такой подход позволит вводить в систему управления образовательным МР элементы адаптивности.

Структура программно-аппаратных средств образовательного робота. Для успешного применения подобных наборов в образовательном процессе, а также для решения различных исследовательских задач в данной области, целесообразно следовать традиционному модульному принципу построения системы. В робототехнике данный принцип выражается в реализации большинства аппаратных комплексов робота, в виде отдельных устройств (блоков), выполняющих конкретную задачу – это существенно повышает надежность роботов и простоту их модернизации. В свою очередь, система управления МР реализуется в виде иерархической структуры подчиненных друг другу уровней, выполняющих задачи различной степени абстракции. Согласно традиционной классификации система управления МР делится на три основных уровня – исполнительный, сенсорный и стратегический (рис. 3).



Рис. 3. Пример структуры системы управления МР

Исполнительный уровень образовательного МР обеспечивается совокупностью различных исполнительных механизмов, таких как приводы шасси, манипуляционные механизмы, захватные устройства и т.п.

Сенсорный уровень предназначен для автоматизированной оценки состояния окружающего пространства, наличия в нем различных объектов, их расположения. Этот уровень реализуется с помощью различных датчиков и измерительных систем.

Стратегический уровень служит для комплексной оценки состояния МР и окружающей обстановки, выработки стратегии для реализации поставленной задачи.

За основу образовательного МР, разработанного авторами статьи [1], был взят робототехнический конструктор *VEX Robotics*. Данный набор представляет собой открытую аппаратную платформу, включающую в себя различные исполнительные механизмы; металлические элементы конструкции; базы данных трехмерных моделей всех комплектующих

для моделирования в CAD системах и разработки виртуальных моделей роботов; библиотеки и примеры программ для создания систем управления.

Несмотря на множество достоинств данной аппаратной платформы, качественно отличающих ее от имеющихся на рынке аналогов, данный робототехнический набор также не обладает программно-аппаратными средствами для реализации стратегического уровня системы управления МР.

Поэтому в качестве пути построения стратегического уровня управления МР, авторами предлагается использовать *высокоуровневый модуль расширения*, предназначенный для решения высокоуровневых задач [2].

Высокоуровневый модуль расширения образовательного МР. В предлагаемом решении высокоуровневый модуль расширения включает в себя *программируемый контроллер SBrick (SmartBrick)* и *алгоритмический сервер RNS (RobotNavigationSystem)* [3].

Программируемый контроллер SBrick предназначен для реализации функции автономной навигации МР с помощью набора пользовательских инструментариев (API, SDK для разработчика), а также ряда приложений, упрощающих процесс настройки контроллера (графический интерфейс для визуализации и редактирования карт местности, интерфейс для настройки параметров работы системы и др.). Алгоритмический сервер RNS представляет собой комплекс программных средств, основанных на реализации метода одновременной навигации и составления карты SLAM [4].

В результате, применение этого модуля расширения дает возможность пользователю (школьнику или студенту), не обладающему глубокими знаниями в области разработки автономных МР, успешно создавать РТК для решения различных прикладных задач.

Рассмотрим реализацию элементов модуля расширения подробнее.

Алгоритмический сервер RNS. Этот сервер включает в себя алгоритмы автономной навигации МР внутри помещения, а также программу дистанционного управления МР. Структурно он выполнен в виде набора программных модулей, представляющих собой исполняемые файлы программ, реализующих тот или иной алгоритм (рис. 4). Подобная концепция свойственна open source системе ROS, являющейся наиболее распространенной операционной системой для роботов [4].

Схожесть архитектуры и совместимость с операционной системой ROS дают возможность применять программные модули сервера для других систем управления роботами, использующими эту операционную систему, а также расширять функционал робота дополнительными узлами, отвечающими за техническое зрение, манипулирование объектами и т.п.

Для реализации сервера RNS используются следующие программные модули: «Драйвер робота»/Robotdriver – описывающий кинематическую схему МР и его исполнительные механизмы, «Блок кинематики робота»/Movebase – реализующий алгоритмы следования по маршруту. Навигационные алгоритмы построены на основе модифицированного алгоритма GMapping с добавлением алгоритма локализации методом Монте-Карло (AMCL), которые функционируют совместно (см. рис. 4) [5, 6, 8].

Движение МР также осуществляется под управлением адаптированного алгоритма GMapping, осуществляющего одновременное обновление карты окружающего пространства и локализацию МР на ней. В случае возникновения ошибки локализации МР на карте местности, осуществляется коррекция его положения с помощью алгоритма AMCL, рассчитывающего положение МР на глобальной карте местности с помощью фильтра частиц [8].

Для отображения карты местности и ее редактирования был разработан пользовательский интерфейс, представляющий собой клиент-серверное приложение, взаимодействующее с операционной системой бортового компьютера МР с помощью программного протокола (рис. 5).

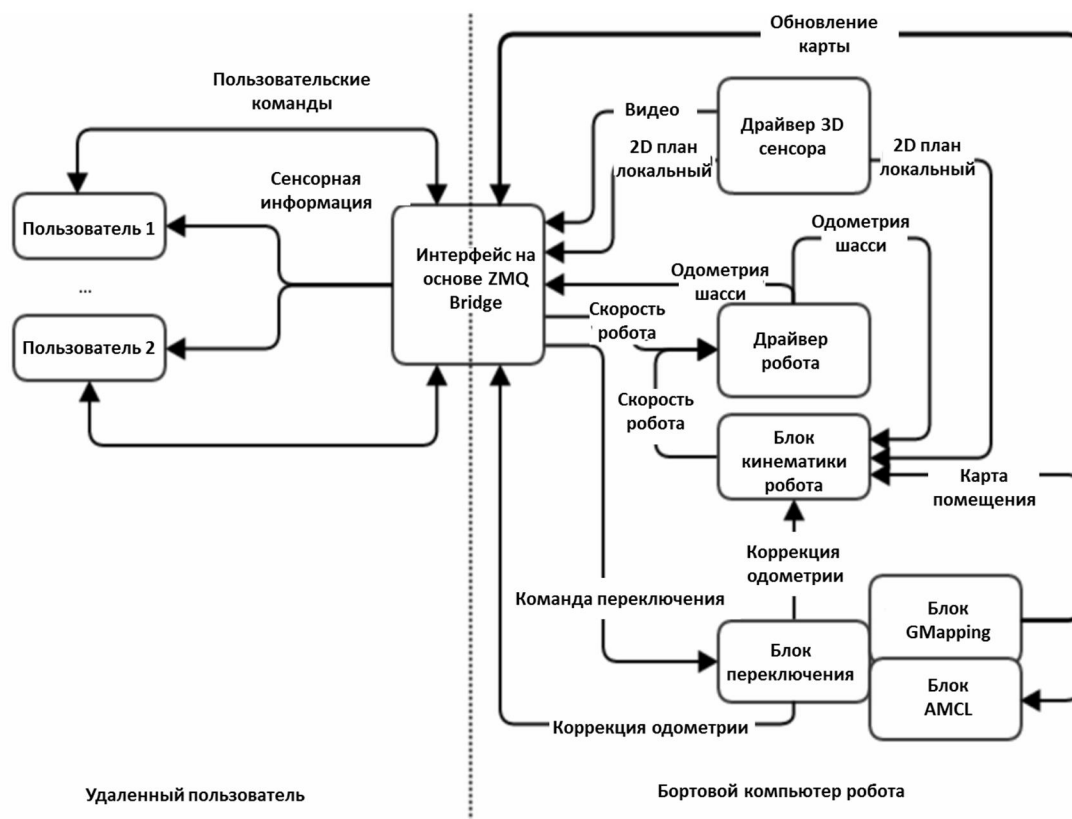


Рис. 4. Структурная схема алгоритмического сервера RNS

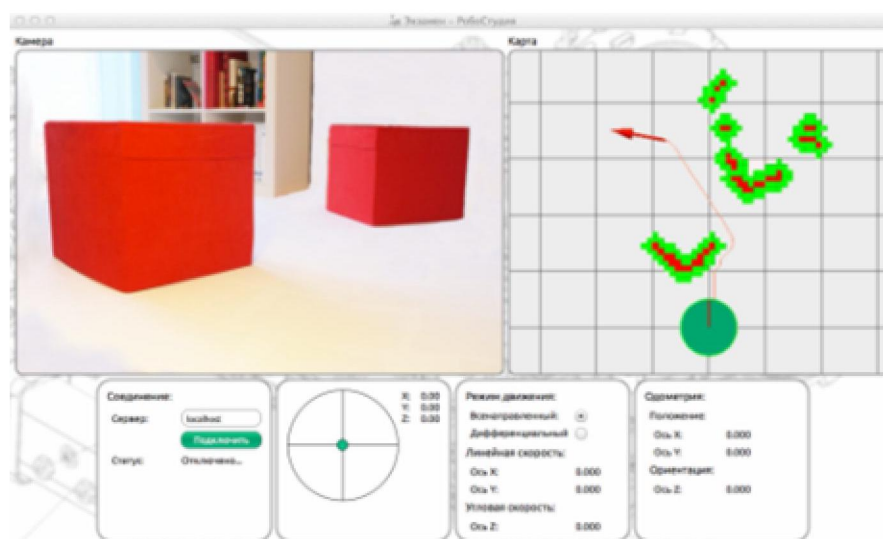


Рис. 5. Пример пользовательского интерфейса алгоритмического сервера RNS

Программируемый контроллер SBrick. Управление РТК, как правило, сводится к решению задач различных уровней абстракции – от управления исполнительными механизмами робота и сбора информации об окружающей среде, до планирования движения и вы-

полнения каких-либо высокоуровневых задач. Как уже отмечалось, вычислительные ресурсы контроллеров образовательных конструкторов роботов недостаточны для решения высокоуровневых задач. Поэтому авторами была создана аппаратная платформа SBrick [15], представляющая собой вычислительный модуль на базе процессора серии Exynos 4412 [16] с операционной системой Linux и периферийной (сервисной) платы для управления отдельными исполнительными устройствами (рис. 6).

Благодаря сочетанию высокой вычислительной производительности и большому количеству интерфейсов, доступных на периферийной (сервисной) плате, программируемый контроллер SBrick позволяет реализовывать системы управления различными устройствами МР, а также другими робототехническими комплексами. В практическом плане это может обеспечивать возможности взаимодействия роботов в пределах групп, принятия ими «согласованных» решений.

Таким образом, построение высокоуровневого модуля расширения на базе алгоритмического сервера RNS и программируемого контроллера SBrick позволяет реализовать стратегический уровень управления МР.



Рис. 6. Функциональная схема контроллера SBrick

Практический пример построения образовательного МР. Рассмотрим пример построения образовательного МР, созданного авторами на базе робототехнического конструктора VEX (рис. 7). Он включает в себя платформу всенаправленного движения, оснащенную устройством AsusXtion [17] для составления карты окружающего пространства и распознавания объектов, а также манипулятор с четырьмя степенями подвижности. Подобная конструкция МР может применяться при решении широкого класса учебных задач, а также при участии в робототехнических соревнованиях по уровню сложности не уступающим RoboCUP@Work [18].



Рис. 7. Образовательный манипуляционный МР

Для программирования МР был создан текстовый редактор SBrickTaskEditor, использующий набор стандартных функций, предоставляемых SDK алгоритмического сервера RNS. При этом процесс программирования управления движением робота значительно упрощается и становится доступен даже учащимся, незнакомым с алгоритмическими основами программирования автономной навигации.

Приведем пример фрагмента программы управления автономным движением МР по координатам, заданным на карте местности (рис. 8). Движение робота осуществляется по заранее построенной карте местности. Если на его пути встречаются посторонние объекты, то он объезжает их автоматически.

Аналогичным образом можно создавать программы управления МР, решающие более сложные алгоритмические задачи. Для удобства пользователей, незнакомых с языками программирования, модуль расширения предоставляет специализированную графическую среду [8], которая позволяет визуальное программировать законы управления роботом, а также использоваться в качестве редактора различных поведенческих сценариев (рис. 9).

Применение высокоуровневого модуля расширения для учебных целей. Одной из основных методических проблем образовательной робототехники на сегодняшний день является необходимость обеспечения плавного перехода учебного процесса от школы к вузу. Учебный процесс в вузе, в большинстве случаев нацелен на учебно-исследовательскую (реже – научно-исследовательскую) деятельность в различных предметных областях и использование результатов исследований при решении практико-ориентированных задач. Применение широко распространенных робототехнических конструкторов, имеющих ограниченные функциональные возможности, не позволяет решать такие задачи, а также использовать специализированные алгоритмы автономной навигации, технического зрения, манипулирования объектами и т.п.

```
#include "stdio.h"
#include <zmq_bridge/Clients.h>

/// Пример программы автономного
/// движения робота по заданной карте
/// местности
int main(int argc, char * argv[])
{
    RNS::Connector connector("192.168.1.2");

    RNS::ChassisClient client(connector);

    /// Движение робота в заданную точку на
    /// карте
    client.moveto(2,0);
    client.moveto(2,2);
    client.moveto(0,2);
    client.moveto(0,0);
    /// Завершение работы по достижению
    /// целевой точки
    released
    return 0;
}
```

Рис. 8. Пример текста программы управления перемещением робота, подготовленной в текстовом редакторе SBrick Task Editor

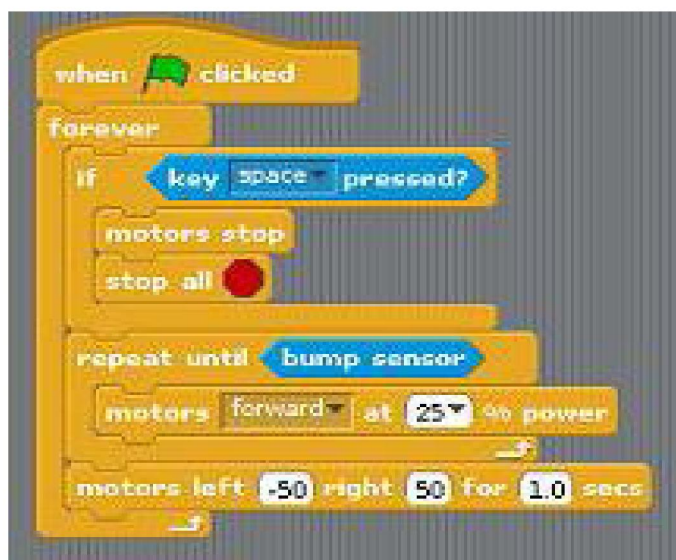


Рис. 9. Пример использования графического интерфейса для разработки программы управления движением робота

Поэтому включение в состав системы управления роботом высокоуровневого модуля расширения на основе алгоритмического сервера RNS и программируемого контроллера SBrick позволяет не ограничивать разработчика учебного курса и пользователя типичными рамками какого-либо стандартного робототехнического набора. Он (модуль) позволяет превратить робототехнический конструктор в прототип робота, выполняющего достаточно сложные прикладные задачи, а также модернизировать уже существующие МР для работы в автономном режиме (рис. 10).

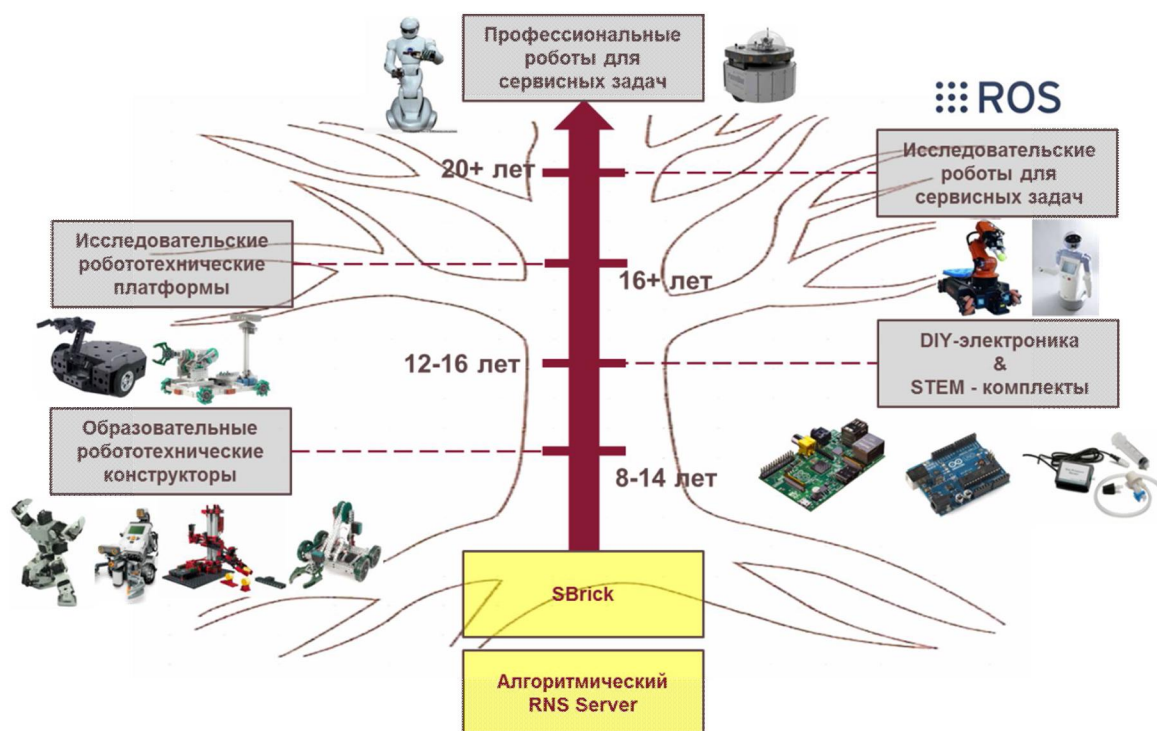


Рис. 10. Возможные области применения высокоуровневого модуля расширения

Такой подход в значительной степени сокращает разрыв между образовательным процессом в школе и вузе; между возрастными категориями пользователей. Он также позволяет использовать кроссплатформенные системы управления роботами, реализуемые на бортовых компьютерах с различными операционными системами, каждая из которых может решать собственную задачу.

С учетом этих соображений авторами был создан (разработан) ряд лабораторных работ по программированию образовательных МР на основе конструктора VEX, платы Arduino, а также с применением высокоуровневого модуля расширения на основе системы SBrick, алгоритмического сервера RNS и открытой операционной системы ROS. Эти разработки предназначены для обучения студентов 4–5 курсов МГТУ им. Н.Э. Баумана в основном по робототехническим специальностям. Полученный опыт использования разработок продемонстрировал возможность проведения учебных курсов по созданию адаптивных систем управления МР как для школьников старших классов, так и для студентов вузов. Полученные учащимися комплексные знания позволят им в дальнейшем более успешно реализовывать собственные прикладные проекты.

Заключение. В данной статье показано преимущество модульного подхода к разработке учебных РТК, когда для реализации отдельных элементов систем управления применяется специализированное оборудование или программное обеспечение. В этой связи использование модулей расширения с заданными техническими характеристиками, позволяет существенно упростить адаптацию робототехнических наборов к особенностям учебного процесса.

Применение образовательных МР, построенных по предложенной схеме, существенно упрощает процесс проектирования РТК и позволяет сосредоточить усилия на решении конкретной практической задачи; дает возможность учащимся уже на ранней стадии обучения познакомиться с профессиональным оборудованием и принципами решения современных производственных задач. Подобный модульный принцип проектирования также обеспечивает неразрывность образовательного процесса в целом, поскольку изначально знакомство учащихся с процессом разработки таких систем можно осуществлять на простейшей элементной базе, постепенно усложняя ее за счет добавления специализированных модулей – по мере роста сложности решаемых учебных или практических задач.

Список литературы

1. Ермишин К. В. Опыт МГТУ имени Н.Э. Баумана по применению робототехнических конструкторов в образовательном процессе / К. В. Ермишин // Развитие инновационной деятельности детей и молодежи в сфере науки, техники и технологии : мат-лы всерос. науч.-практ. конф. – Курган, 2013. – С. 50–59.
2. Ермишин К. В. Экспертный уровень / К. В. Ермишин, С. В. Палицын, М. А. Кольин, С. А. Баранчук. – Москва : Экзамен, 2014. – 160 с.
3. Ермишин К. В. Система управления сервисным мобильным роботом-экскурсоводом. Экстремальная робототехника / К. В. Ермишин, С. А. Воротников // Тр. междунар. науч.-техн. конф. – Санкт-Петербург : Политехника-сервис, 2011. С. 351–356.
4. Ермишин К. В. Мультиагентная сенсорная система сервисного мобильного робота / К. В. Ермишин, С. А. Воротников // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2012. – Вып. 6. – С. 50–59.
5. Chris Brown // Applications for Robotics, Duke University Class of Computer Science, 2013.
6. Robust Monte Carlo. Localization for Mobile Robots / Robust Monte Carlo, Sebastian Thrun, Dieter Fox, Wolfram Burgard and Frank Dellaert // Artificial Intelligence. – 2000. – Vol. 128, № 1–2. – P. 99–141.
7. Thrun S. Robotic mapping: A survey / S. Thrun // Exploring Artificial Intelligence in The New Millenium. – San Francisco : Morgan Kaufmann, 2002. – P. 2–36.
8. Thrun S. Particle filters in robotics / S. Thrun // Proceedings of the 17th Annual Conference on Uncertainty in AI (UAI). – Banff, 2002. – P. 234–248.
9. Official website of ROBOTIS Co.Ltd. – Robotis Bioloid. Available at: <http://www.robotis.com> (accessed 01.01.14).
10. Official website of Fishertechnik GmbH. – Fishertechnik. Available at: <http://www.fischertechnik.de> (accessed 01.01.14).
11. Official website of Pitsco Inc – Tetrix. Available at: <http://www.tetrixrobotics.com/> (accessed 01.01.14).
12. Official website of VEX Robotics Inc. – VEX Robotics. Available at: <http://www.vexrobotics.com/> (accessed 01.01.14).
13. Official website of Vernier Software & Technology, LLC. – Vernier. Available at: <http://www.vernier.com/> (accessed 01.01.14).
14. Official website of Arduino – Arduino. Available at: <http://arduino.cc/> (accessed 01.01.14).
15. Official website of Sybo Tech LLC – SBrick. Available at: <http://syborobotics.com/> (accessed 01.01.14).
16. Official website of Hardkernel Co.Ltd. – Exynos 4412. Available at: <http://www.hardkernel.com> (accessed 01.01.14).
17. Official website of «Asus Store » – Asus Xtion. Available at: http://www.asus.com/ru/Multimedia/Xtion_PRO/ (accessed 01.01.14).
18. Official website of RoboCUP. Available at: <http://www.robotcupatwork.org/-RoboCUP@Work> (accessed 01.01.14).

References

1. Ermishin K. V. Opyt MGTU imeni N.E. Baumana po primeneniyu robototekhnicheskikh konstruktorov v obrazovatelnom protsesse [Experience of application robotic kits in educational process in Bauman University]. *Razvitie innovatsionnoy deyatel'nosti detey i molodezhi v sfere nauki, tekhniki i tekhnologii: materialy vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Development of innovative activity of children and youth in science, engineering and technology: Proceedings of the Russian Scientific and Practical Conference]. Kurgan, 2013, pp. 50–59.
2. Ermishin K. V., Palitsin S. V., Kolin M. A., Baranchuk S. A. *Ekspertnyy uroven* [Expert level]. Moscow, Ekzamen, 2014. 160 p.
3. Ermishin K. V., Vorotnikov S. A. Sistema upravleniya servisnym mobilnym robotom-ekskursovozom. Ekstremalnaya robototekhnika [The control system of mobile guidance-service robot]. *Trudy mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. Saint Petersburg, Politehnika-servis, 2011, pp. 351–356.
4. Ermishin K. V., Vorotnikov S. A. Multiagentnaya sensornaya sistema servisnogo mobilnogo robota [The multiagent control system of mobile service robot]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni N.E. Baumana. Seriya. Priborostroenie* [Bulletin of Bauman Moscow State Technical University. Series. Instrument], 2012, issue. 6, pp. 50–59.
5. Chris Brown. *Applications for Robotics, Duke University Class of Computer Science*, 2013.
6. Robust Monte Carlo, Sebastian Thrun, Dieter Fox, Wolfram Burgard and Frank Dellaert. Localization for Mobile Robots. *Artificial Intelligence*, 2000, vol. 128, no. 1–2, p. 99–141.
7. Thrun S. Robotic mapping: A survey. *Exploring Artificial Intelligence in The New Millenium*. San Francisco, Morgan Kaufmann, 2002, pp. 2–36.
8. Thrun S. Particle filters in robotics. *Proceedings of the 17th Annual Conference on Uncertainty in AI (UAI)*. Banff, 2002, pp. 234–248.
9. Official website of ROBOTIS Co.Ltd. – Robotis Bioloid. Available at: <http://www.robotis.com> (accessed 01.01.14).
10. Official website of Fishertechnik GmbH. – Fishertechnik. Available at: <http://www.fischertechnik.de> (accessed 01.01.14).
11. Official website of Pitsco Inc – Tetrix. Available at: <http://www.tetrixrobotics.com/> (accessed 01.01.14).
12. Official website of VEX Robotics Inc. – VEX Robotics. Available at: <http://www.vexrobotics.com/> (accessed 01.01.14).
13. Official website of Vernier Software & Technology, LLC. – Vernier. Available at: <http://www.vernier.com/> (accessed 01.01.14).
14. Official website of Arduino – Arduino. Available at: <http://arduino.cc/> (accessed 01.01.14).
15. Official website of Sybo Tech LLC – SBrick. Available at: <http://syborobotics.com/> (accessed 01.01.14).
16. Official website of Hardkernel Co.Ltd. – Exynos 4412. Available at: <http://www.hardkernel.com> (accessed 01.01.14).
17. Official website of «Asus Store» – Asus Xtion. Available at: http://www.asus.com/ru/Multimedia/Xtion_PRO/ (accessed 01.01.14).
18. Official website of RoboCUP. Available at: <http://www.robocupatwork.org/-RoboCUP@Work> (accessed 01.01.14).