

УДК 621.865:004.896

РАЗРАБОТКА И ПОЛЕВЫЕ ИСПЫТАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО БЕСПИЛОТНОГО НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Сизов А.Ю., Туманов А.А., Федосова Л.О.

*ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,
Нижний Новгород, e-mail: sizov_ost_vk@mail.ru*

Настоящая статья посвящена разработке и результатам полевых испытаний роботизированного беспилотного наземного транспортного средства в рамках шестых ежегодных соревнований мобильных робототехнических систем «РобоКросс-2015». Приведён состав аппаратных средств, необходимых для реализации роботизированного транспортного средства. Показаны структурные схемы роботизированного транспортного средства для работы в телеуправляемом и автономном режимах. Программное обеспечение имеет двухуровневую иерархию и реализовано в графическом языке программирования National Instruments LabVIEW. Описан алгоритм движения транспортного средства в автономном режиме. Показано моделирование описанного алгоритма в среде Robotics Environment Simulator. По результатам моделирования был уточнён алгоритм автономного управления движением транспортного средства и применён к реальной модели с учётом её аппаратных особенностей. Представлены результаты полевых испытаний.

Ключевые слова: беспилотные транспортные системы, симуляция, виртуальное моделирование, робототехника, система управления, промышленные контроллеры, дистанционное управление, оптимальная траектория движения, мобильные робототехнические системы

THE AUTONOMOUS UNMANNED LAND ROBOT DEVELOPING AND FIELD TESTING

Sizov A.Y., Tumanov A.A., Fedosova L.O.

*Nizhniy Novgorod State Technical University named by R.E. Alexeev,
Nizhniy Novgorod, e-mail: sizov_ost_vk@mail.ru*

The article is devoted the development and results of the field test the autonomous unmanned land robot at the sixth annual competition of mobile robotic systems «RoboKross-2015». The above structure of the hardware needed to implement the autonomous unmanned land robot. There are the block diagrams of the unmanned land robot for testing in autonomous and remotely controlled mode. The software has two-level hierarchy, and implemented in a graphical programming language National Instruments LabVIEW. The algorithm of the unmanned land robot in autonomous mode. Displaying simulation algorithm described in the Robotics Environment Simulator. The result of the refined algorithm simulation was applied to a real model considering its hardware features. The results of field tests.

Keywords: unmanned land robotic systems, simulation, virtual simulation, robotics, control systems, industrial controllers, remote control, optimal trajectory, mobile robotic systems

С 13 по 18 июля 2015 года на полигоне Автозавода группы ГАЗ «Берёзовая пойма» (г. Нижний Новгород) прошли шестые ежегодные полевые испытания беспилотных систем «РобоКросс-2015» в рамках программы: «Робототехника: инженерно-технические кадры инновационной России».

Соревнования «РобоКросс» проводятся с целью:

- популяризации и развития современных технологий среди молодёжи;
 - развития робототехнических систем, которые могут найти практическое применение в краткосрочной перспективе.
- Задачами соревнований являются:
- демонстрация современного уровня развития технологий для решения конкретных текущих практических задач;
 - создание дополнительных возможностей для объединения интересов и усилий исследователей и представителей промыш-

ленности в сфере мобильных робототехнических систем;

- стимулирование разработки автономных транспортных систем для решения задач тестирования и испытания транспортных средств.

Задание предполагает разработку робототехнической системы, устанавливаемой на наземное транспортное средство (ТС), которая способна в беспилотном режиме управлять ТС и удерживать его на дороге. Данное задание призвано сделать следующий шаг в разработке систем для испытания ТС на полигонах. Испытания наземных ТС делятся на три класса: ТС с механической коробкой передач, ТС с автоматической коробкой передач и ТС любых гибридных схем силовых агрегатов. Испытываются как автономные, так и телеуправляемые системы.

Задание для наземных ТС заключается в старте ТС из зоны «Старт – Финиш»;

движении по испытательной трассе с препятствиями в виде пластиковых бочек со скоростью не более 10 км/ч; развороте в автономном режиме (без участия оператора) при достижении конца трассы (зона разворота имеет размер от 15×15 до 20×20 м и размечена контрольными габаритными линиями); возврате в исходную позицию на старте [5].

Характеристики трассы на полигоне Автозавода группы ГАЗ «Березовая пойма»:

- протяжённость трассы 60–80 м с небольшим изгибом;
- уклоны и подъемы по длине трассы не превышают 5%;
- ширина трассы на всем протяжении маршрута от 10 до 20 м;

За основу шасси для робота был взят китайский электрический квадроцикл RAZOR Dirt Quad (рис. 1), у которого были сняты лишние детали: руль, пластиковый корпус.



Рис. 1. Электро-квадроцикл RAZOR Dirt Quad

В процессе эксплуатации электрического квадроцикла были выявлены следующие недостатки:

- геометрия рамы выполнена с большой погрешностью (при повороте колёс на некоторый угол одно из них отрывалось от земли);
- штатный привод ведущих колёс не приспособлен под задний ход как механически, так и электрически;
- привод не оказывал никакого сопротивления качению при остановке.

Блок управления роботизированного ТС состоял из персонального компьютера (ПК), промышленного контроллера NI CompactRIO с установленными модулями ввода/вывода (NI 9263, NI 9205, NI 9403, NI 9870) и блоков управления двигателями [3].

В качестве рулевого агрегата был использован линейный шаговый актуатор ELC57–63. Для определения центрального положения передних колёс рулевой агрегат калибровался с помощью конечного

выключателя, расположенного в крайнем правом положении колёс. Силовым агрегатом являлся базовый электродвигатель с редуктором мощностью 300 ватт.

Для работы в телеуправляемом режиме потребовались следующие аппаратные средства (рис. 2). Связь с роботом осуществлялась посредством использования двух комплектов точек доступа Wi-Fi Ubiquiti Rocket M2 и двух всенаправленных Wi-Fi 2×2 MIMO антенн Ubiquiti AirMaxOmni 2G13, работающих в режиме моста. Один комплект был установлен на ТС, второй находился у оператора. Рабочее место оператора было оснащено ПК, управление ТС велось с пульта. Видеоданные с IP-камеры AXIS M5014 передавались по сети Wi-Fi на ПК оператора.

Для работы в автономном режиме потребовались следующие аппаратные средства (рис. 3). Для определения положения и параметров движения использовалась бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС) КомпаНав–2МТ. Модуль определял параметры движения робота в инерциальной системе отсчета (положение, скорость, ускорение, курс, тангаж, крен и т.д.) Для обнаружения препятствий применялся лазерный сканирующий дальномер HOKUYO UTM–30LX–EW.

Программное обеспечение (ПО) было реализовано на графическом языке программирования National Instruments LabVIEW с установленными модулями NI Robotics, NI FPGA, NI Real-Time Module, NI Vision [2]. Управляющая программа (УП) была разделена на два уровня: верхний и нижний.

Нижний уровень – УП, реализованная на реконфигурируемой программной логической интегральной схеме (ПЛИС). ПЛИС является частью промышленного контроллера cRIO-9075. Для программирования ПЛИС был использован модуль LabVIEW FPGA, предназначенный для разработки систем, каналы ввода/вывода которых, а также встроенные специализированные устройства обработки данных, выполняются реконфигурируемыми, причем алгоритм их функционирования реализуется на аппаратном уровне [1]. На этом уровне решались следующие задачи: управления исполнительными и сигнальными элементами (рулевой агрегат, силовой агрегат и сигнальная лампа), получение данных с кнопочного пульта, аварийной кнопки и конечного выключателя и калибровка рулевого агрегата. Нижний уровень управления не меняется в зависимости от режима работы ТС.

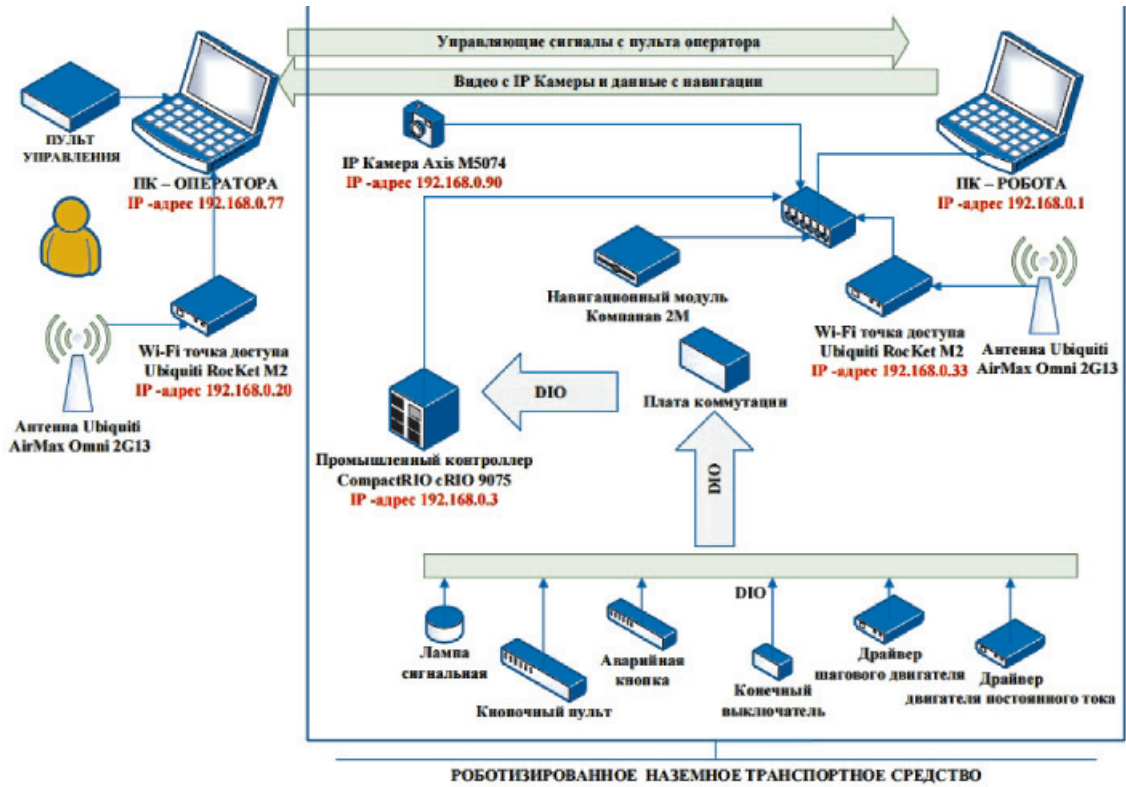


Рис. 2. Структурная схема роботизированного ТС в телеуправляемом режиме

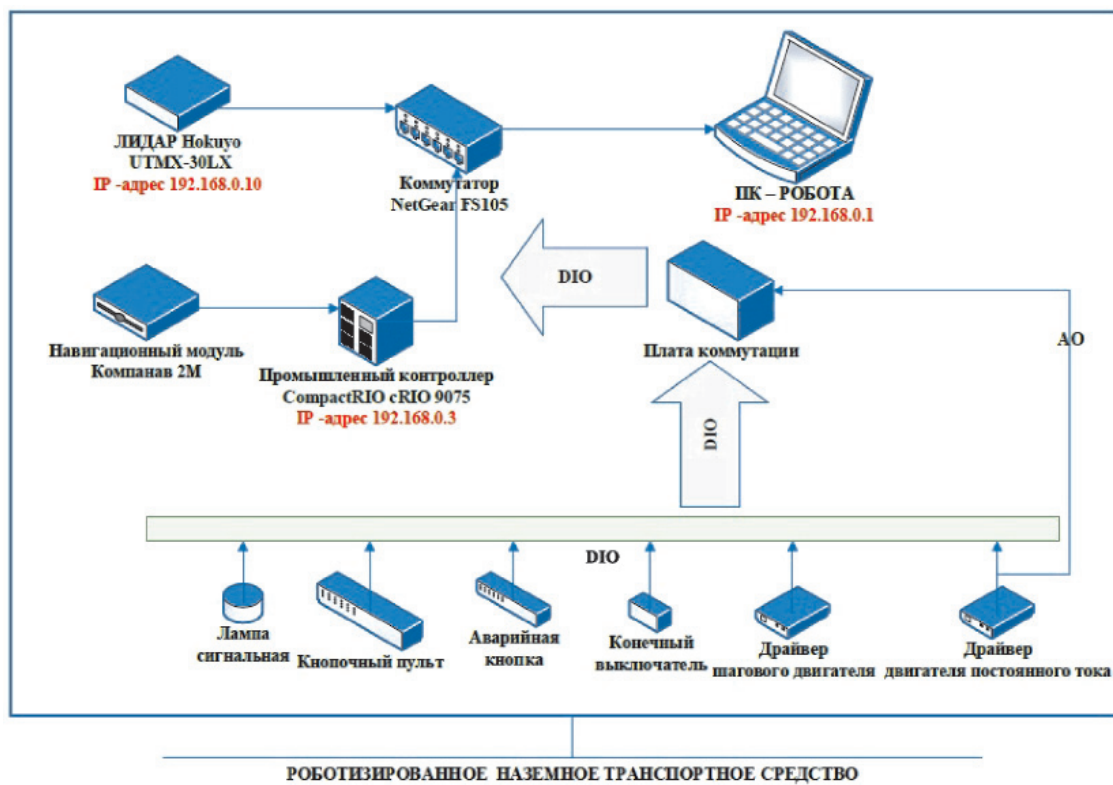


Рис. 3. Структурная схема роботизированного ТС в автономном режиме

Верхний уровень для телеуправляемого режима работы представляет собой УП, реализованную на ПК оператора и ПК робота. Данная УП имеет клиент-серверную структуру для двунаправленной передачи данных по Wi-Fi каналу. Данные с ПК оператора представляют собой управляющие сигналы, подаваемые на исполнительные механизмы ТС. Передача осуществлялась по протоколу TCP/IP. Данные с ПК робота представляют собой видеосигнал с IP-камеры и сигнал с навигации. Передача осуществлялась по протоколу UDP.

Верхний уровень для автономного режима работы представляет собой УП, реализованную на ПК робота. На этом уровне осуществляется получение и обработка данных с навигации и лидара. На основе полученных данных решались задачи навигации и объезда препятствий.

Алгоритм автономного движения ТС по трассе имел следующий вид: в УП вносились координаты точек следования, робот стремился оказаться в максимально близкой окрестности точки, при этом, по данным с лидара, строилась картина препятствий и определялись веса свободных участков, оценивались их размеры и близость к требуемому вектору движения. В результате получался заданный курс, максимально близкий к требуемому, но проходящий через свободное пространство. При достижении максимально возможного приближения к текущей заданной точке маршрута робот переключался на следующую. В случае, когда ТС достигало точки в зоне разворота, робот осуществлял поворот на 180 градусов и следовал в зону старта/финиша по заданным точкам в обратном порядке.

Данный алгоритм автономного движения ТС был протестирован на работоспособность в виртуальной среде Robotics Environment Simulator (рис. 4). В качестве робота для проведения виртуальных испытаний был выбран робот из стандартной библиотеки среды Robotics Environment Simulator – SD6 Simulation [4]. На эту модель были установлены виртуальные навигация и лидар. В ходе процесса симуляции робот успешно объезжал препятствие, осуществлял движение по точкам с заданными координатами и осуществлял разворот в заданной зоне. Отработанный алгоритм был использован на реальной модели с учётом её отличий от виртуальной.

В результате полевых испытаний (рис. 5) роботизированное ТС показало себя следующим образом. Реализованный алгоритм движения ТС работал стабильно с препятствиями, расставленными по регламенту. Некорректная работа алгоритма наблюдалась в ситуации, когда несколько препятствий отстояли друг от друга на расстояние менее полутора метров. Используемый модуль навигации выдавал данные с погрешностью порядка 8–10 метров, что отрицательно влияло на построение траектории движения и детектирование зоны разворота. Несмотря на сопутствующие трудности, ТС успешно прошло квалификационные и зачётные заезды и, по итогам полевых испытаний, заняло 4-е место в общем зачете и получило номинацию «Системный подход». В условиях сжатых сроков и значительного объема работы команда смогла подготовить автономное транспортное средство и участвовать в категории «Свободный класс».

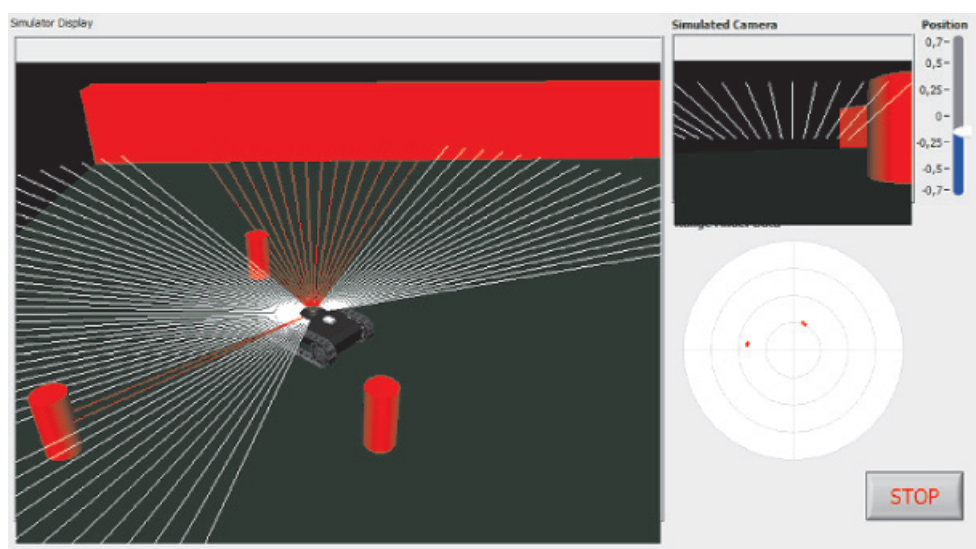


Рис. 4. Симуляция автономной работы робота на виртуальной трассе в среде Robotics Environment Simulator



Рис. 5. Полевые испытания роботизированного ТС на полигоне Автозавода группы ГАЗ «Березовая пойма» (г. Нижний Новгород)

Список литературы

1. Баран Е.Д. LabVIEW FPGA. Реконфигурируемые измерительные и управляющие системы. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 448 с.
2. Блюм П. LabVIEW. Стил программирования. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 400 с.
3. Виноградова Н.А., Листратов Я.И., Свиридов Е.В. Разработка прикладного обеспечения в среде LabVIEW. – М.: Изд-во МЭИ, 2005. – 50 с.
4. Жуков К.Г. Модельное проектирование встраиваемых систем в LabVIEW. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 688 с.
5. Официальный сайт программы «Робототехника: инженерно-технические кадры инновационной России» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.russianrobotics.ru>.

Referenses

1. Baran E.D. LabVIEW FPGA. Rekonfiguriruemye izmeritelnye i upravljajushhie sistemy. M.: DMK Press, 2009. 448 p.
2. Bljum P. LabVIEW. Stil programmirovaniya. M.: DMK Press, 2008. 400 p.

3. Vinogradova N.A., Listratov Ja.I., Sviridov E.V. Razrabotka prikladnogo obespechenija v srede LabVIEW. M.: Izd-vo MJeI., 2005. 50 p.

4. Zhukov K.G. Modelnoe proektirovanie vstraivaemykh sistem v LabVIEW. M.: DMK Press, 2011. 688 p.

5. Oficial'nyj sayt programmy «Robototehnika: inzhenerno-texnicheskie kadry innovacionnoj Rossii» [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.russianrobotics.ru>.

Рецензенты:

Панов А.Ю., д.т.н., профессор кафедры «Теоретическая и прикладная механика», ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород;

Иванов А.А., д.т.н., профессор кафедры «Автоматизация машиностроения», ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород.