

## МОДЕЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ШАССИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ

Бутусов Д. Н.<sup>1</sup>, Красильников А. В.<sup>1</sup>, Райцин С. Б.<sup>1</sup>, Миронченко Е. А.<sup>2</sup>,  
Клунникова Ю. В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)», Санкт-Петербург, Россия (197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, д.5, e-mail: butusovdn@mail.ru

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Воронежский государственный университет инженерных технологий», Воронеж, Россия (394036, Россия, г. Воронеж, проспект Революции, 19), e-mail: post@vsuet.ru

<sup>3</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, Россия (344006, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105), e-mail: cosikt@sfedu.ru

В статье приводится методика проектирования встраиваемых систем управления подвижными техническими объектами на основе технологии виртуальных инструментов. Методика рассматривается на примере разработки системы управления гусеничным шасси робота. Описывается декомпозиция объекта проектирования на составные части, структура алгоритмов управления, реализованных в виде виртуальных приборов среды National Instruments LabVIEW (VI), выбор аппаратной платформы для контроллера системы управления. Рассмотрен алгоритм реализации плавного управления поворотом гусеничной платформы на ходу. Описана система машинного зрения на основе модуля NI IMAQ и система дистанционной передачи команд управления с помощью беспроводной локальной сети. Приведены иллюстрации, поясняющие текст работы. Сделаны выводы о применимости предлагаемой методики к задачам проектирования объектов робототехники. Проведена оценка предложенных решений по сравнению с имеющимися аналогами.

Ключевые слова: модельное проектирование, виртуальный прибор, встраиваемые системы, робототехника.

## MODEL-BASED DESIGN OF TRACKED ROBOT CHASSIS CONTROL SYSTEM

Butusov D. N.<sup>1</sup>, Krasilnikov A. V.<sup>1</sup>, Raytsin S. B.<sup>1</sup>, Mironchenko E. A.<sup>2</sup>, Klunnikova Y. V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State Electrotechnical University, Saint-Petersburg, Russia. (197376, 5, Professora Popova st., Saint-Petersburg, Russia) e-mail: butusovdn@mail.ru

<sup>2</sup>Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education "Voronezh State University of Engineering Technologies" (394036, 19, prosp. Revoljucii, Voronezh, Russia), e-mail: post@vsuet.ru

<sup>3</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia (344006, 105/42, Bolshaya Sadovaya st., Rostov-on-Don, Russia), e-mail: cosikt@sfedu.ru

Model-based method of embedded control system design is considered by the example of the control system for tracked robot. Decomposition of the design object is described, as the structure of the control algorithms did in the form of virtual instruments (LabVIEW VI) and the choice of hardware controller for a control system. An algorithm of smooth tracked chassis turning is developed. A computer vision system, based on NI IMAQ module, is described, as the distant control system, operated through wireless LAN did. Conclusions about practical usage of developed design method is done, efficiency of the method is proved for the robotics design tasks. The comparative analysis of the model-design method and other available solutions included.

Key words: model-based design, virtual instrument, embedded systems, robotics.

### Введение

При создании роботизированных систем возникает ряд задач, связанных с реализацией точного управления электромеханической частью шасси системы. Как правило, процесс проектирования таких систем управления сопровождается трудностями отладки и выбора аппаратного обеспечения. Часто системы управления шасси требуют реализации

дистанционной передачи управляющего сигнала. С этой целью в настоящее время широко применяются блоки радиуправления, требующие калибровки и согласования частот. В связи с этим во многих случаях целесообразнее применять уже существующие, хорошо отработанные системы цифровой связи – например, Wi-Fi. В работе [3] описывается методика разработки встраиваемых систем управления на основе принципов модельного проектирования. Задачей настоящего исследования является адаптация методики модельного проектирования встраиваемых систем к решению задачи точного дистанционного управления шасси роботизированной платформы с реализацией передачи команд по Wi-Fi LAN в рамках одной среды проектирования – NI LabVIEW 2011.

### Описание решения

На рисунке 1 представлена схема процесса проектирования системы управления шасси подвижной роботизированной платформы. Рассматриваемое шасси служит базой для роботизированной системы сбора графической (видеопотока) и акустической информации.

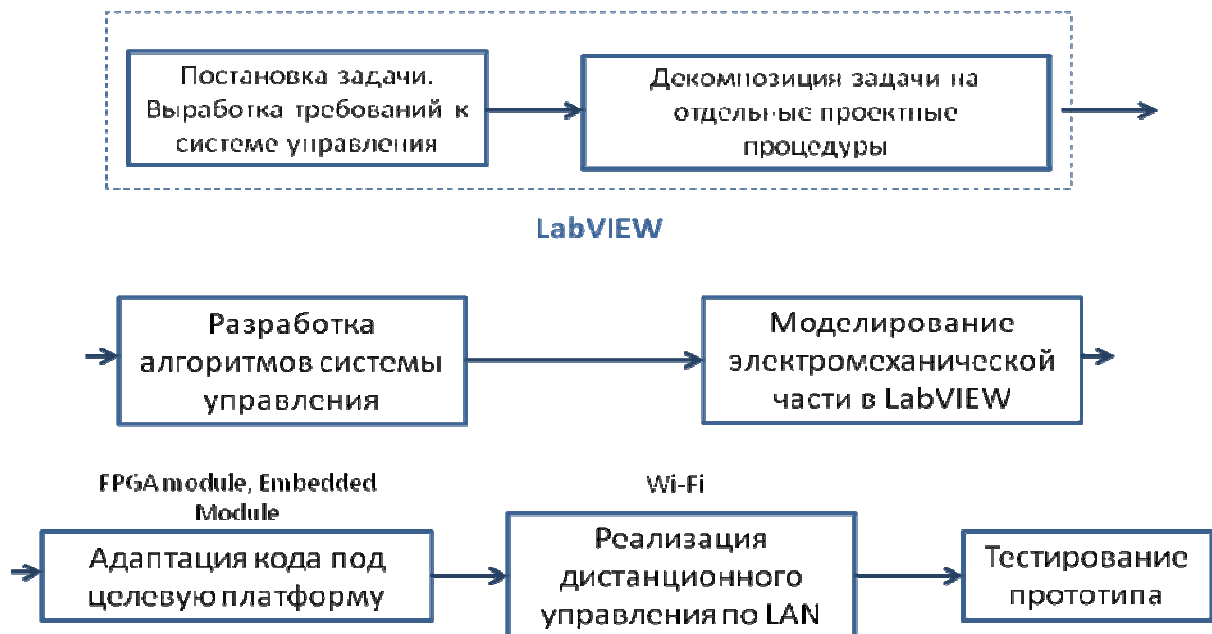


Рисунок 1. Методика модельного проектирования встраиваемой системы управления шасси робота

В качестве среды разработки и моделирования системы управления выбрана NI LabVIEW 2011 с модулями расширения. Бортовым вычислителем выступает микроконтроллер архитектуры ARM – Raspberry PI с установленной ОС Linux. Дистанционное управление подвижной платформой основано на технологии беспроводной LAN и состоит из Wi-Fi роутера, Wi-Fi модуля стандарта USB для микроконтроллера и виртуального подприбора LabVIEW, реализующего соединение хост-компьютера и встраиваемой системы управления по локальной сети, формирование и выдачу пакетов

команд управления. На рисунке 2 приведена декомпозиция объекта проектирования на составные части.

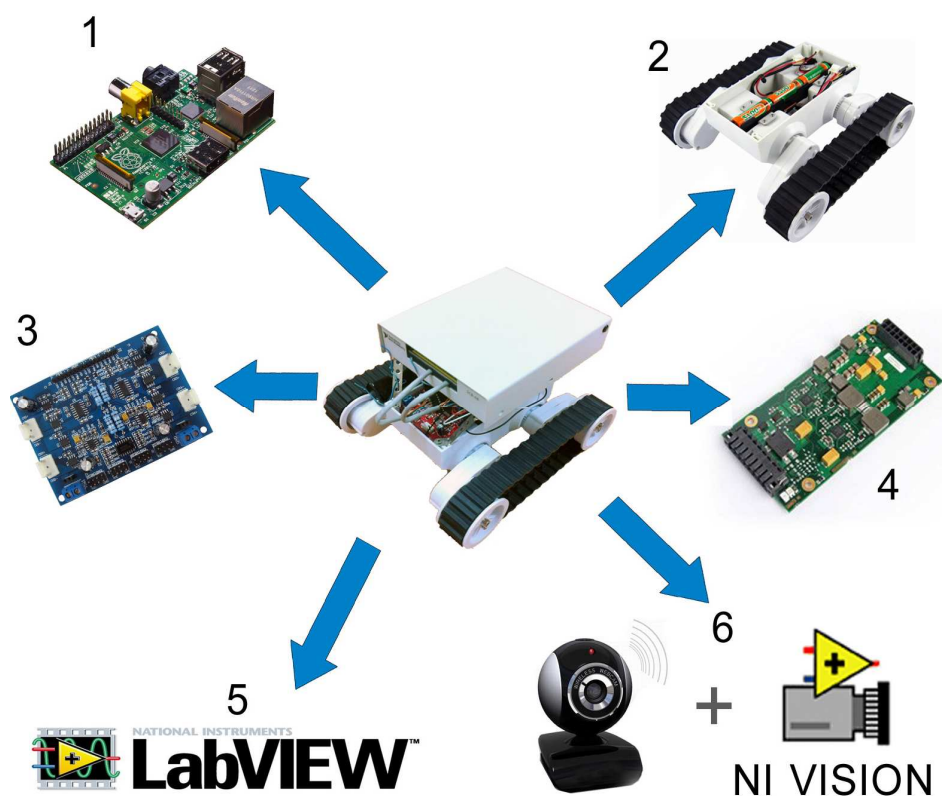


Рисунок 2. Составные части объекта проектирования: 1 – ARM-контроллер Raspberry PI; 2 – Шасси Rover 5 с системой питания; 3 – драйвер электродвигателей; 4 – конвертор уровней TTL/CMOS; 5 – прибор управления в NI LabVIEW 2011; 6 – беспроводная цифровая камера и модуль NI IMAQ

Управление двигателями постоянного тока гусеничной платформы реализовано с помощью программных ШИМ-генераторов, выход которых передается на входы схемы драйвера двигателя. Питание контроллера и двигателей обеспечивается за счет встроенных аккумуляторов платформы, схема питания включает конвертор уровней цифрового сигнала из 3.3V в 5V и обратно. На рисунке 3 представлена структурная схема системы управления объектом проектирования – подвижной гусеничной платформой.

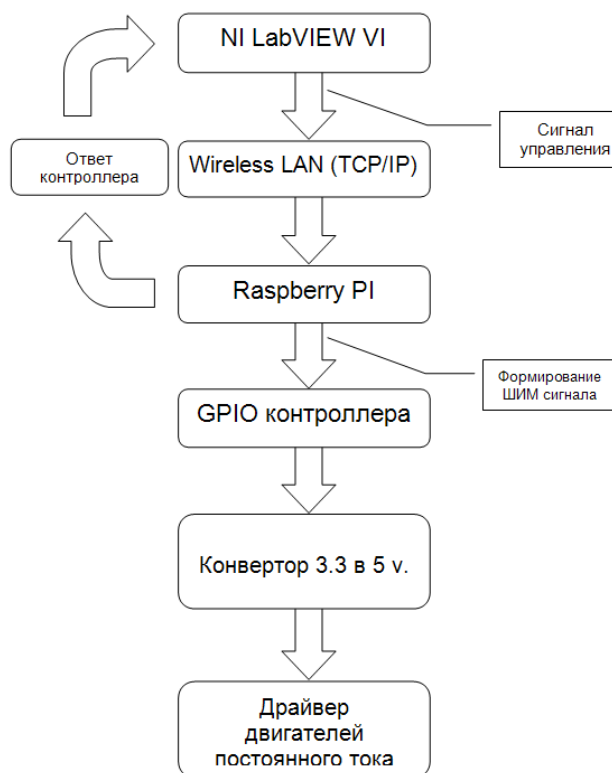


Рисунок 3. Уровни управления подвижной гусеничной платформой

Обратная связь реализуется двумя беспроводными каналами: виртуальный прибор управления, запущенный на хост-компьютере (рис.5), получает от контроллера по LAN данные о принятии команды управления («ОК») и данные о реальном перемещении катков платформы, получаемые от цифровых энкодеров, установленных на шасси. Также на борту подвижной платформы установлена беспроводная цифровая камера, поток данных которой передается по собственному каналу на хост-компьютер и выводится на лицевую панель средствами NI IMAQ. В дальнейшем, полученное изображение (видеосигнал) может быть обработано или сохранено в виде файла различных форматов видеозаписи. Виртуальный прибор управления создается в среде LabVIEW на хост-компьютере, и, согласно техническому заданию, реализует движение вперед и назад с точным дискретным заданием скорости движения и плавный поворот платформы с хода (без остановки), обеспечивая пересчет коэффициентов скоростей вращения гусениц левого и правого борта.

Для того чтобы реализовать такое управление подвижной платформой, необходимо найти способ более точного вычисления коэффициента торможения. Для начала нужно найти зависимость радиуса поворота от скоростей каждого колеса (иными словами выразить радиус  $R = f(v_л, v_п)$  как функцию двух скоростей левого и правого колес:

$$R = \frac{V_л + V_п}{V_л - V_п} \cdot l$$

Рассмотрим ситуацию при повороте направо:

Угловая скорость поворота робота равна  $\omega = \frac{V}{R}$ , оба его колеса движутся с равной угловой скоростью  $\omega_x = \frac{V_x}{R_x} = \frac{V_n}{R_n} = \omega_n$ .

Радиус поворота у обоих колес будет разный и равен, соответственно,  $R_x = R + l$  и  $R_n = R - l$ . Подставим эти значения в формулу и выразим  $R$ :

$$R = \frac{V_x + V_n}{V_x - V_n} \cdot l$$

Теперь, зная зависимость  $R = f(v_x, v_n)$ , найдем, как радиус поворота зависит от угла, на который мы желаем повернуть. То есть найдем зависимость  $R = g(\alpha)$ , а затем выразим скорости колес  $(v_x, v_n) = F(\alpha)$  как некую функцию желаемого угла.

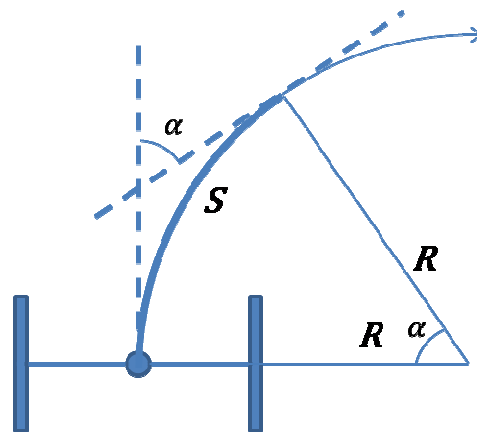


Рисунок 4. Зависимость радиуса поворота от значения желаемого угла поворота

Определим желаемый угол поворота как угол между касательными к траектории движения робота в точках, лежащих друг от друга на некоем расстоянии  $S$ . Иными словами, через каждый отрезок пути, равный  $S$ , новая касательная к траектории робота имеет угол  $\alpha$  к предыдущей касательной. Таким образом, мы обеспечим движение по окружности постоянного радиуса с возможностью изменять скорость движения.

Можно заметить, что определенный таким образом угол  $\alpha$  равен углу между радиусами окружности, охватывающими дугу длиной  $S$ . Длина дуги равна  $S = \frac{\pi R \alpha}{180}$ . Отсюда

$$R = \frac{180 \cdot S}{\pi \alpha}$$

$$\frac{V_x + V_n}{V_x - V_n} \cdot l = \frac{180 \cdot S}{\pi \alpha}$$

$$\frac{\frac{V_x}{V_n} + 1}{\frac{V_x}{V_n} - 1} \cdot l = \frac{180 \cdot S}{\pi \alpha}$$

Выразим отсюда  $\frac{V_x}{V_n}$ :

$$\frac{V_x}{V_n} = \frac{C + \alpha}{C - \alpha}$$

,где

$$C = \frac{180 \cdot S}{\pi l}$$

Осталось определить, чему должна быть равна константа  $S$ . Чем больше будет ее значение, тем более плавным будет получаться поворот. Мы вольны выбирать любое значение (размерность которого будет совпадать с размерностью  $l$ ) с учетом того, что значение  $C - \alpha$  должно быть всегда положительным.

Если максимально возможный угол поворота будет осуществляться на  $90^\circ$ , то:

$$C - \alpha = \frac{180 \cdot S}{\pi l} - \alpha > 0$$

Отсюда:

$$S > \frac{\alpha \pi l}{180}$$

Переменная  $l$  задана конструкцией самого робота и примерно равна  $l = 190 \text{ мм}$

$$\text{Тогда } S > \frac{90,5 \cdot 3,14 \cdot 190}{180} = 298,3$$

примем  $S = 2\pi d \approx 380 \text{ мм}$

Тогда:

$$C = \frac{180 \cdot 380}{3,14 \cdot 190} \approx 114$$

Теперь подставим найденное значение:

$$\frac{V_x}{V_H} = \frac{90,5 + \alpha}{90,5 - \alpha}$$

Изначально робот движется по прямой (условие  $V_x = V_H$ ). Чтобы повернуть на  $\alpha^\circ$  в какую-либо сторону, то текущую скорость соответствующего колеса надо разделить на коэффициент  $\frac{90,5 + \alpha}{90,5 - \alpha}$

Процесс дальнейшего проектирования системы управления организован следующим образом. Техническое задание на проектирование декомпозируется на ряд подзадач. Разрабатываются модели подсистем объекта проектирования. Осуществляется выбор аппаратных средств, создание алгоритмического и программного обеспечения, разработка соответствующей подсистемы и тестирование полученных решений. Каждая группа разработчиков использует модель объекта управления или управляющего устройства (например, модель щеточного электродвигателя в Simulation Module, эмулятор микроконтроллера и т.д.) для верификации полученных решений на каждом этапе проектирования. Отладка электромеханической части производится при помощи прямого подключения драйвера шасси подвижной платформы к управляющему компьютеру через плату сбора данных NI-6251 и защищенный коннектор SCB-68. После отладки коннектор

отключается, и вместо него устанавливается созданная встраиваемая система управления на базе контроллера Raspberry PI.

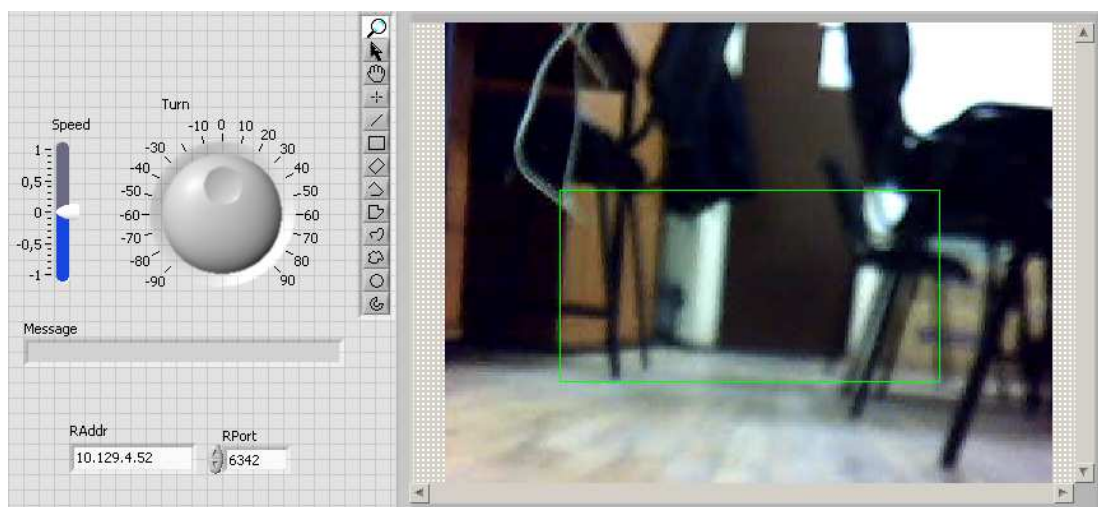


Рисунок 5. Лицевая панель прибора управления

После этого осуществляется композиция созданных подсистем объекта проектирования в единое целое на шасси платформы, проводится финальная отладка системы, настройка сетевых параметров и параметров устройств видео- и аудиозахвата.

### **Заключение**

Разработана и апробирована методика [2] модельного проектирования встраиваемых систем управления шасси подвижных роботизированных объектов. Эффективно применена технология виртуальных инструментов [1], раскрыты широкие возможности современных беспроводных технологий передачи данных для реализации систем дистанционного управления объектами робототехники. Создан и испытан прототип роботизированной платформы, реализующий алгоритмы точного управления движением гусеничной шасси, сбора и обработки визуальной и акустической информации.

*Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» (Государственный контракт № 14.В37.21.2021 от 11 ноября 2012 г.).*

### **Список литературы**

1. Бутусов Д. Н. Лабораторный практикум по дисциплине «Компьютерные технологии виртуализации» / Д. Н. Бутусов, К. Г. Жуков // Сборник материалов XV Международной конференции «Современное образование: содержание, технологии, качество», секция Инновационные процессы в Российской образовательной системе. – С. 87.

2. Бутусов Д. Н. Автоматизация проектирования встраиваемых систем: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Автоматизация проектирования встраиваемых систем» / сост. Д. Н. Бутусов, В. С. Андреев. – Санкт-Петербург: СПбГЭТУ, 2012. – 41 с.
3. Бутусов Д. Н. Автоматизация проектирования встраиваемых систем: Дисс... канд. техн. наук. – СПб.: СПбГЭТУ, 2012. – 184 с.
4. Бутусов Д. Н., Андреев В. С. Программно-аппаратные решатели уравнений в частных производных на основе метода прямых // Известия Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета ЛЭТИ. – 2012. – № 2.
5. Жуков К. Г. Модельное проектирование встраиваемых систем в LabView. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 688 с.

**Рецензенты:**

Анисимов Владимир Иванович, д.т.н., проф. кафедры систем автоматизированного проектирования. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург.

Сольнищев Ремир Иосифович, д.т.н., проф. кафедры систем автоматизированного проектирования. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)», г. Санкт-Петербург.