

УДК 004.3

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ¹

С.В. Шаветов^а, А.А. Ведяков^а, А.А. Пыркин^а

^а Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), Санкт-Петербург, Россия, r41f.814ck.h4wk@gmail.com, sergyo777@ya.ru

Рассматривается архитектура универсальной системы удаленного управления робототехническими объектами через глобальную сеть Интернет. Предполагается, что объекты управления находятся на значительном расстоянии от их задающего устройства либо от конечных пользователей. Приводится обзор исследований, посвященных тематике удаленного управления техническими объектами. Предложена структурная схема архитектуры, демонстрирующая применение рассматриваемой системы на практике. Рассмотрено серверное программное обеспечение, позволяющее работать с техническими объектами, подключенными к серверу с последовательным портом, и позволяющее организовать устойчивое соединение между объектом управления и конечным пользователем. Предложенная архитектура успешно апробирована на мобильных роботах Parallax Boe-Bot и Lego Mindstorms NXT. Приведены экспериментальные данные временных задержек, демонстрирующие эффективность рассмотренной архитектуры.

Ключевые слова: удаленное управление, мобильные роботы, управление через Интернет.

THE ARCHITECTURE OF THE REMOTE CONTROL SYSTEM OF ROBOTICS OBJECTS¹

S.V. Shavetov^a, A.A. Vedyakov^a, A.A. Pyrkin^a

^а Saint Petersburg, Russia, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University), r41f.814ck.h4wk@gmail.com, sergyo777@ya.ru

The paper deals with the architecture for the universal remote control system of robotics objects over the Internet global network. Control objects are assumed to be located at a considerable distance from a reference device or end-users. An overview of studies on the subject matter of remote control of technical objects is given. A structure chart of the architecture demonstrating the system usage in practice is suggested. Server software is considered that makes it possible to work with technical objects connected to the server as with a serial port and organize a stable tunnel connection between the controlled object and the end-user. The proposed architecture has been successfully tested on mobile robots Parallax Boe-Bot and Lego Mindstorms NXT. Experimental data about values of time delays are given demonstrating the effectiveness of the considered architecture.

Keywords: remote control, mobile robots, control over the Internet.

Стремительное развитие микропроцессорной техники и телекоммуникационных технологий выдвигает на первый план «облачные» технологии, позволяющие пользователям иметь повсеместный доступ к различным вычислительным ресурсам (серверам, приложениям, сервисам). Современные технологии делают возможным управление в реальном времени различными техническими объектами, физически достаточно удаленными от пользователя или задающего устройства. Задачей, решаемой в данной работе, является разработка архитектуры универсальной системы управления робототехническими комплексами через глобальную сеть Интернет независимо от места размещения объекта управления и задающего устройства.

Одним из самых доступных примеров удаленного управления техническими объектами являются видеокамеры IP PTZ (Panorama, Tiltand Zoom) с функциями панорамирования, масштабирования и наклона. Управление такими устройствами реализуется по протоколу TCP/IP как через локальную сеть Ethernet, так и через глобальную сеть Интернет. Приводя в пример IP PTZ видеокамеры, стоит отметить, что они являются инерционными исполнительными устройствами, поэтому каналные ограничения, такие, например, как временные задержки и полоса пропускания канала связи, не оказывают существенного влияния на результат управления. Для демонстрации прогресса подобных систем удаленного управления в реальном времени упомянем несколько игровых проектов (Glavbot, Joker Racer) [1, 2] по управлению через Интернет различными машинками на полигонах, удаленных от конечного пользователя.

Данной тематике посвящено большое количество статей. Обзор подходов и алгоритмов управления в условиях каналных ограничений представлен в работе [3]. В [4] сотрудники Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН рассматривают управление роботом-манипулятором через Интернет. Для сокращения временных задержек и обеспечения быстрого отклика системы на действия оператора в проекте производится работа с трехмерной компьютерной моделью робота и его рабочего пространства. Применение алгоритма управления мехатронным комплексом, имитирующим вертолет, в ус-

¹ Работа выполнена при государственной финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации (Госзадание 2014/190, субсидия 074-U01, Проект 14.Z50.31.0031)

This work was financially supported by the Government of the Russian Federation (Goszadanie 2014/190, Grant 074-U01, Project 14.Z50.31.0031)

ловиях информационных ограничений описано в работе [5]. Статья [6] показывает возможность удаленного управления многозвенным роботом-манипулятором в режиме реального времени. Авторы работы [7] рассматривают два различных случая устойчивости линейной сетевой системы управления – при временном запаздывании и при потере пакетов данных. В статье [8] описано предложенное в Техасском университете сетевое управление шаром на магнитной подвеске с использованием предиктора команд. При потере или большой задержке сигнала от управляющего компьютера предиктор предсказывает на основе предыдущих полученных команд сигнал управления, тем самым реализуя непрерывность работы. Как видно из этого краткого обзора, рассматриваемая задача является актуальной и перспективной.

Для решения поставленной задачи ее необходимо разделить на две основные подзадачи. Первой является обмен телеметрической информацией между техническим объектом и конечным пользователем или задающим устройством, которые могут находиться на значительном удалении друг от друга. Вторая – это организация визуального контроля положения удаленного технического объекта. Для этого требуется трансляция видеоизображения либо с самого объекта, либо со стороны, что определяется типом поставленной задачи. Важным условием является доступность и возможность подключения к Интернет-каналу как удаленного объекта, так и пользователя. На рисунке представлена архитектура системы управления, решающая эти подзадачи.

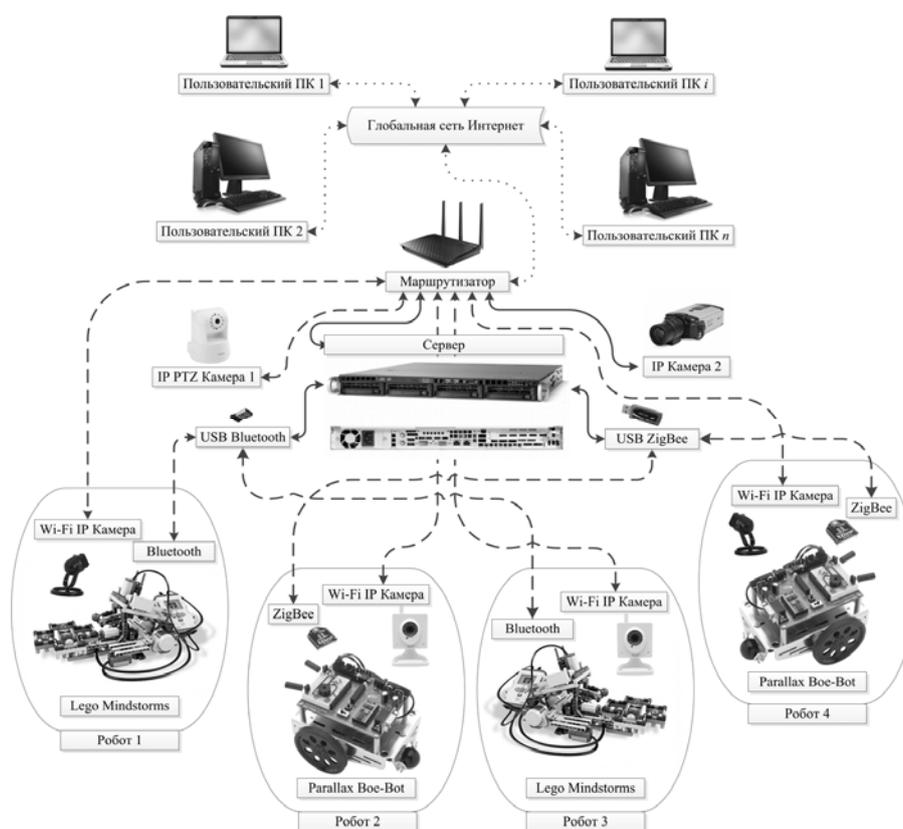


Рисунок. Архитектура системы удаленного управления техническими объектами

Основой архитектуры является Сервер, к которому подключены через интерфейсы «последней мили» удаленные технические объекты управления. На схеме в качестве таких интерфейсов представлены USB-модули спецификаций IEEE 802.15.1 Bluetooth и IEEE 802.15.4 ZigBee, к которым подключены два робота Lego Mindstorms (Робот 1 и Робот 3 на рисунке) и два робота Parallax Boe-Bot (Робот 2 и Робот 4) соответственно. Сервер подключен по Ethernet к маршрутизатору, который имеет доступ к каналу связи глобальной сети Интернет. Обмен телеметрической информацией между конечными пользователями (Пользовательские ПК 1, 2, i , n) и техническими объектами (Роботы 1–4) выполняется серверное программное обеспечение, написанное на Node.js. Для минимизации временных задержек используется современная технология web-сокетов (библиотека Socket.IO для Node.js), позволяющая постоянно держать открытым соединение между пользователем и Сервером. Для взаимодействия технического объекта с Сервером, а соответственно, и с пользователем, используется библиотека serialport для Node.js. Таким образом, работа реализуется через стандартный последовательный порт, что позволяет подключать к Серверу огромное количество различных технических объектов. В работе не рассматриваются предикторы команд и алгоритмы управления с запаздыванием. При апробации рассмотренной архитектуры на

мобильных роботах Lego Mindstorms NXT и Parallax Voe-Bot задержки по управлению находились в пределах 20–50 мс.

Для решения второй подзадачи в приведенной архитектуре вещание видеопотока с объектов управления реализовано через использование логически- и электронно-независимых от объектов управления, но закрепленных на них механически мобильных Wi-Fi IP-видеокамер, подключенных к маршрутизатору по стандарту IEEE 802.11g. В зависимости от задачи может потребоваться организация видеовещания со стороны. В таком случае целесообразно использовать статичные IP-камеры (Камера 2 на рисунке) или IP PTZ-камеры (Камера 1). Использование мобильных IP-камер при вещании в формате MJPEG, поддерживаемом большинством интернет-обозревателей, показало уровень временных задержек в локальной сети около 200 мс и 500 мс при вещании через сеть Интернет.

Представленная в работе архитектура системы удаленного управления техническими объектами является универсальной, потому что работа производится с последовательным портом и зависит только от управляющей программы технического объекта и набора команд, определенного серверным программным обеспечением. Рассмотрена простая и надежная система видеовещания, не зависящая от объекта управления. Задержки как по вещанию, так и по управлению находятся на допустимых, относительно малых уровнях, что говорит о возможности использования данной системы управления в широких областях.

1. *Glavbot: veb-igrы s robotami i dopolnennoi real'nost'yu* [Glavbot: web-games with robots and augmented reality]. Available at: <http://robotor.ru/2011/04/15/glavbot-interview/>. (accessed 28.01.2014).
2. *Drive R/C cars over the internet – Joker Racer*. Available at: <http://www.jokerracer.com>. (accessed 28.01.2014).
3. Andrievsky B.R., Matveev A.S., Fradkov A.L. Control and estimation under information constraints: Toward a unified theory of control, computation and communications. *Automation and Remote Control*, 2010, vol. 71, no. 4, pp. 572–633. doi: 10.1134/S000511791004003X
4. Belousov I.R. Algorithms for internet-based control of a robot manipulator. *Mathematical Models and Computer Simulations*, 2002, vol. 14, no. 8, pp. 10–15.
5. Fradkov A.L., Andrievsky B., Peaucelle D. Estimation and control under information constraints for LAAS Helicopter benchmark. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2010, vol. 18, no. 5, pp. 1180–1187.
6. Nuno E., Ortega R., Jayawardhana B., Basanez L. Networking improves robustness in flexible-joint multi-robot systems with only joint position measurements. *European Journal of Control*, 2013, vol. 19, no. 6, pp. 469–476. doi: 10.1016/j.ejcon.2013.09.005
7. Sun J., Jiang J. Delay and data packet dropout separately related stability and state feedback stabilisation of networked control systems. *IET Control Theory and Applications*, 2013, vol. 7, no.3, pp. 333–342. doi: 10.1049/iet-cta.2011.0391
8. Kim W.-J., Ji K., Srivastava A. Network-based control with real-time prediction of delayed/lost sensor data. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2006, vol. 14, no. 1, pp. 182–185. doi: 10.1109/TCST.2005.859630

- Шаветов Сергей Васильевич** – инженер, аспирант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), Санкт-Петербург, Россия, r41f.814ck.h4wk@gmail.com, sergyo777@ya.ru
- Ведяков Алексей Алексеевич** – инженер-исследователь, аспирант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), Санкт-Петербург, Россия, vedyakov@gmail.com
- Пыркин Антон Александрович** – кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), Санкт-Петербург, Россия, a.pyrkin@gmail.com
- Sergei V. Shavetov** – engineer, postgraduate, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University), Saint Petersburg, Russia, r41f.814ck.h4wk@gmail.com, sergyo777@ya.ru
- Alexei A. Vedyakov** – research engineer, postgraduate, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University), Saint Petersburg, Russia, vedyakov@gmail.com
- Anton A. Pyrkin** – PhD, Associate professor, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO University), Saint Petersburg, Russia, a.pyrkin@gmail.com

Принято к печати 03.02.14
Accepted 03.02.14