



Ссылка на статью:

// Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии. УлГУ. Электрон. журн., 2019, №2, с.54-68.

Поступила: 20.10.2019

Окончательный вариант: 03.12.2019

© УлГУ

УДК 007.52

Архитектура распределенной гуманоидной роботехнической системы «АЛКЕТОН-УлГУ»

Кудряшов А.В., Шлеменкова Е.О.,

Чичев А.А., Чекал Е.Г.*

* checal@mail.ru

УлГУ, Ульяновск, Россия

В данной статье описывается архитектура опытного образца гуманоидной роботехнической системы «АЛКЕТОН-УлГУ», разработанного на кафедре телекоммуникационных технологий и сетей факультета математики, информационных и авиационных технологий Ульяновского государственного университета. Архитектура состоит из трех основных компонентов: сервер, роботы, клиентская сторона. Приводится перечень программных модулей компонент, структура разработанных роботов ТЕО, АРТІ, EVA, и особенности локального и глобального подключения роботов к главному серверу системы

Ключевые слова: роботехническая система, гуманоидный робот, роботехника, робот, роботизированные системы управления, информационные технологии.

Введение

Роботизация – неотъемлемая часть Четвертой промышленной революции (Industry 4.0). Поэтому в рамках федерального проекта «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика» разрабатывается план развития сферы отечественной технологии автоматизированных технических систем, так называемая дорожная карта «Компоненты роботехники и сенсорики». План охватывает такие направления, как разработка автоматизированных технических систем и методов управления ими, разработка сенсорных систем и методов обработки сенсорной информации, взаимодействие технических систем между собой и с человеком. Предусматривается развитие следующих субтехнологий:

- «Сенсоры и цифровые компоненты робототехники для человеко-машинного взаимодействия». В нее входят технологии и интерфейсы ассистивной робототехники, сервисной и социальной робототехники для взаимодействия с людьми, технологии безопасного взаимодействия человека с робототехническими системами и технологии дистанционного взаимодействия человек-робот;

- «Технологии сенсорно-моторной координации и пространственного позиционирования». В их число входят алгоритмы и технологии управления приводами с сенсорами обратной связи, сенсорно-моторной координации и планирования движений для захвата и перемещения физических объектов и контактного взаимодействия, симуляторы и эмуляторы робототехнических и сенсорных средств на базе физических и теоретико-механических моделей для разработки и верификации систем управления, и прочие;

- «Сенсоры и обработка сенсорной информации», которая охватывает алгоритмы и технологии комплексирования и синхронизации разнородных сенсорных данных, цифровые контактные и бесконтактные сенсоры и алгоритмы извлечения и обработки информации, специализированные облачные платформы сенсоров и робототехнических средств [1].

Технологическими барьерами, преодоление которых окажет существенное влияние на уровень развития технологий в рамках указанных технологий, разработчики дорожной карты указали, в том числе, человеко-машинные интерфейсы и сетевую систему реального времени для сбора, анализа интерпретации сенсорной информации.

Новые тенденции развития роботов характеризуются, в том числе, повышением простоты использования, развертывания и обслуживания и современными способами управления роботами [3].

Можно отметить работы, которые ведутся в рамках целевой программы «Создания перспективной военной робототехники до 2025 года». Также Фондом перспективных исследований реализуются проекты по разработке базовой антропоморфной робототехнической платформы, антропоморфного космического робота SAR-401 (создан в 2013 году НПО «Андроидная техника») [4].

Созданию опытного образца социальной распределенной робототехнической системы для взаимодействия с людьми посвящена данная разработка.

1. Требования к робототехнической системе

В социальной робототехнике антропоморфные, то есть внешне схожие с человеком, роботы принято подразделять на андроидов (антропоморфных роботов с высокой степенью внешнего сходства с человеком) и гуманоидов (внешне обладающих человекоподобием). Как правило, такие роботы имеют аналогичные пропорции, имеют "голову", возможно «руки» и/или «ноги». Робот не обязательно является "ходящим", он может быть стационарным или мобильным, например колесным или гусеничным, но должен иметь "человеческие черты" [2].

Разрабатываемая гуманоидная робототехническая система должна удовлетворять следующим функциональным требованиям:

1. осуществление вербального обмена данных между роботом и клиентом, то есть, «распознавание речи + синтез речи» — очевидное требование, совершенно необходимое для гуманоидных роботов;
2. передача данных в режиме реального времени — аналогично, очевидное требование, также совершенно необходимое для гуманоидных роботов;
3. осуществление дистанционного контроля за роботами и управления роботами — данное требование обусловлено тем, что текущий уровень развития роботехники совершенно недостаточен для реализации полностью автономных гуманоидных роботов;
4. кроссплатформенное управление роботом с использованием web-браузера — обусловлено тем, что тем самым не разрабатывается специализированная система управления роботами, а задействуется хорошо зарекомендовавшая сервис-ориентированная архитектура;
5. гуманоидная роботехническая система должна быть многопользовательской, то есть, расширяемой и масштабируемой, пользователи (люди, операторы) должны быть определены в системе и для оперативной работы должны регистрироваться в системе;
6. это же касается и роботов: роботы также должны быть определены в системе и для оперативной работы должны регистрироваться в системе, причём регистрация робота означает перевод робота из «спящего» (или выключенного) режима в режим онлайн и привязку этого робота к учётной записи пользователя-оператора;
7. интерфейс управления гуманоидной роботехнической системой в целом может включать дополнительные разделы и возможности, помимо определённых в пункте 4; они необходимы для инсталляции, конфигурирования, сопровождения системы;
8. интерфейс управления гуманоидной роботехнической системой может быть построен на различных вариантах человеко-машинного интерфейса, однако желателен также вербальный.

2. Аппаратно-программная технологическая база

Разработанная гуманоидная роботехническая система «АЛКЕТОН-УлГУ» состоит из двух основных составляющих: системы управления и непосредственно роботов. При реализации системы в качестве аппаратной базы для реализации системы управления и непосредственно роботов было использовано следующее оборудование:

1. ЭВМ для реализации системы управления; (серверов системы) требования к ним, на данном этапе в основном, определялись функционированием программного обеспечения сервера системы: то есть, веб-сервера (с CMS WordPress), СУБД, некоторых программ обработки/формирования html-страниц для взаимодействия с клиентом-пользователем с одной стороны и клиентом-роботом с другой, и некоторых программ обработки аудио (распознавание/синтез речи) и видео (распознавание);

2. ЭВМ для рабочих мест пользователей-операторов: обычные ПЭВМ, ноутбуки, планшеты, смартфоны;
3. специализированные платы для реализации исполнительных модулей робота на основе микроконтроллеров Arduino Mini с 16-разрядными процессорами ATmega328p (flash-память 32 кб, RAM-память 2 кб, EEPROM-память 1 кб, цифровых входов 14, аналоговых входов 8).
4. одноплатные микрокомпьютеры Raspberry Pi 3B для реализации сложных функций робота, таких, как распознавание/синтез речи, обработка видео и др. (процессор ARM Cortex-A53 x64 с тактовой частотой 1,2 ГГц, 4 ядра, оперативная память 1Гб, 4 порта USB 2.0., порт Ethernet, WiFi, BlueTooth, а также графическое ядро с поддержкой OpenGL ES 2.0 с аппаратным ускорением, FullHD-видео, DSP-ядро; вывод видеосигнала возможен через композитный разъём RCA или через цифровой HDMI-интерфейс; 40 портов GPIO (general purpose input/output) для взаимодействия с датчиками и одноплатными компьютерами).

На одноплатных микрокомпьютерах Raspberry Pi 3B использовалась операционная система Android Things.

На мобильных устройствах пользователей-операторов применяется ОС Android — это определяется технологией разработки клиентского ПО.

Для реализации программного обеспечения системы использовались интегрированные среды разработки:

Arduino IDE — для разработки встраиваемого ПО одноимённой платы;

IDE AndroidStudio — для разработки мобильных приложений;

IDE NetBeans — для разработки прочего ПО.

В качестве системы управления контентом использовалась CMS WordPress — локализованная, с хорошей документацией, с большим сообществом пользователей и, соответственно, с технической поддержкой.

Для поддержания диалога на естественном языке роботу необходима система распознавания речи. При выборе системы распознавания речи учитывалось, что у гуманоидной робототехнической системы может быть два варианта функционирования: с доступом к Интернет и автономно без доступа к Интернет. Однако характеристики наличествующих (доступных для использования) систем распознавания речи оказались весьма противоречивы. Поэтому было принято решение использовать сразу две взаимодополняемые системы «Yandex SpeechKit» и «CMU Sphinx». Первую — в условиях наличия доступа в Интернет, поскольку в ней обработка аудио ведётся на сервере yandex централизованно. Вторая допускает автономную обработку аудио при наличии локального словаря, который, к сожалению, не может быть слишком большим.

3. Архитектура робототехнической системы

При создании любой сложной информационной системы критическим аспектом является ее архитектура, где последняя представляет собой концептуальное видение структу-

ры будущих функциональных процессов и технологий на системном уровне и их взаимосвязи.

Архитектура роботехнической системы представлена на рис. 1.

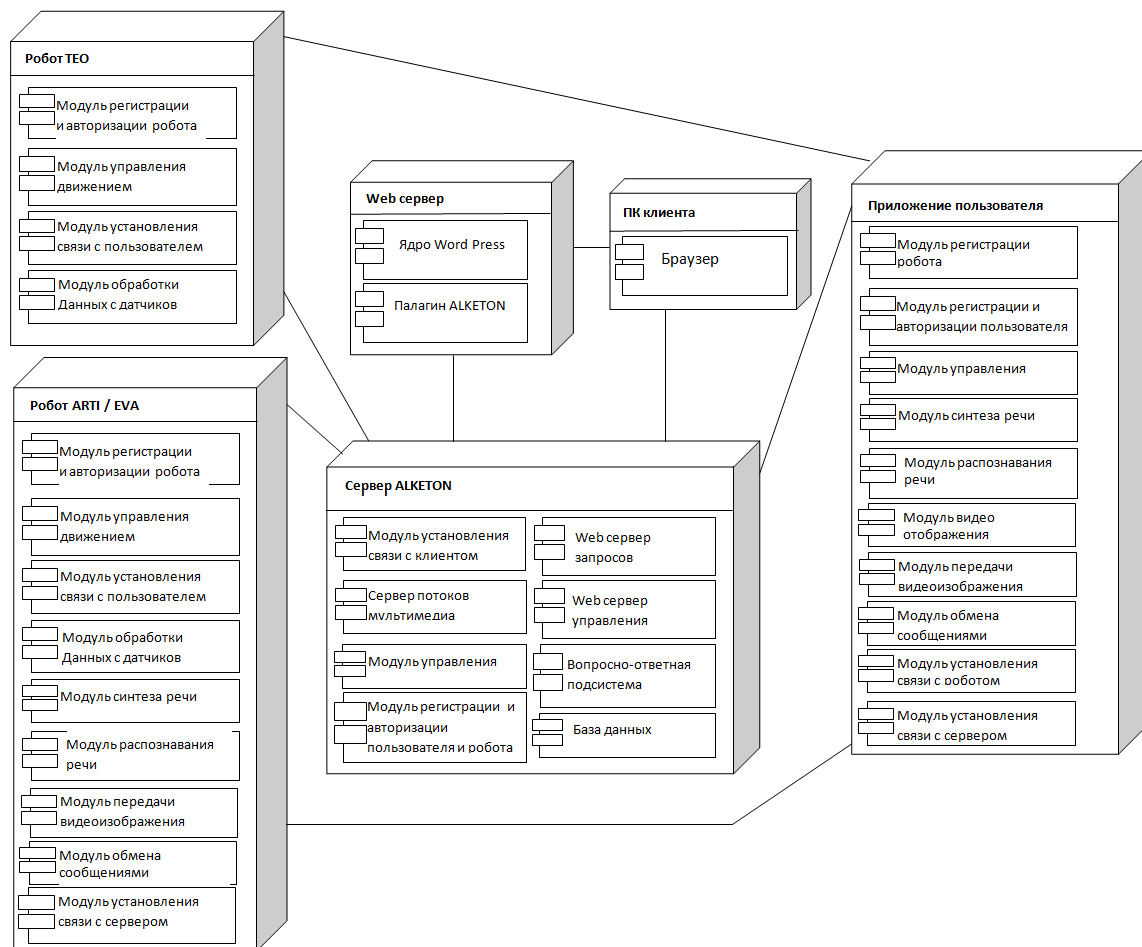


Рис. 1. Архитектура гуманоидной роботехнической системы.

Архитектура системы состоит из трех основных компонентов: роботы, сервер и клиентская сторона.

1) Роботы - совокупность роботов (в данной разработке их три), построенных на разной аппаратной платформе, но с определенным интерфейсом взаимодействия роботов с системой управления. В данной разработке предусмотрено, что каждый вид робота имеет возможность подключаться непосредственно к клиентскому компоненту представленному в виде мобильного приложения, используя технологию Bluetooth, то есть, возможна организация пар: пользователь/оператор - робот. Также роботы имеют возможность подключаться к серверу системы, используя глобальную сеть интернет, BlueTooth или сотовую связь.

Роботы содержат следующие модули:

- регистрация и авторизация робота - идентификация устройства при подключении пользователя к роботу;

- установление соединения с сервером - устанавливает соединение, передает и принимает данные с сервера системы;
- взаимодействие с пользователем в части обработки команд;
- управление движением - осуществляет управление исполнительными устройствами;
- обработки данных с датчиков;
- синтез речи - озвучивает текст на естественном языке;
- распознавание речи - преобразует речь в текст;
- передача видео изображения - захват видео с камеры робота, сжатие видео и передача на видео-сервер, находящийся на сервере системы;
- обмен сообщениями вербального взаимодействия - осуществляет контроль распознанного текста от модуля распознавания речи и передачу его на сервер, а также отправляет полученное сообщение на модуль синтеза речи.

2) Сервер системы — предназначен для организации управления системой, организации взаимодействия между пользователями и роботами, ведения базы данных. Содержит следующие модули:

- регистрация и авторизация - регистрация пользователей и роботов;
- взаимодействие с клиентом-пользователем;
- организация взаимодействия между подключенными парами пользователи - роботы;
- прообраз экспертной подсистемы — выработка/поиск ответов на вопросы пользователей и база реакций на события для роботов;
- обработка потоков мультимедиа - приём и передача видеоизображения робот - клиент ;
- web-сервер — взаимодействие с пользователем через web-интерфейс, обработка команд пользователя;
- web-сервер — управление роботами, взаимодействие с роботами со страницы управления на web-сервере;
- СУБД с базой данных.

Дополнительно на web-сервере размещен сайт гуманоидной роботехнической системы, который использует систему управления контентом WordPress. На сайте опубликована информация о роботехнической системе, модуль регистрации новых пользователей в системе и личные кабинеты пользователей. В личном кабинете пользователю доступен список всех роботов, доступных пользователю, интерфейс управления выбранным роботом, а так же возможность добавлять правила в экспертную подсистему, тем самым обучая робота.

3) Клиентская сторона представлена мобильным приложением на платформе операционной системы Android для доступа к системе. Мобильное приложение доступно всем мобильным устройствам с версией Android 4.4 и выше.

Через мобильное приложение есть возможность регистрации самого пользователя, регистрации пользователем нового робота, взаимодействия с роботом. Приложение может подключаться непосредственно к системе и к роботу используя технологию Bluetooth и удаленно через Интернет к серверу системы (сотовая связь). Есть возможность при подключении робота к мобильному приложению (при наличии доступа к интернету на мобильном устройстве) управления данным роботом через интернет с web сайта или с другого мобильного устройства.

Мобильное приложение состоит из следующих модулей:

- регистрация робота - подключение к новому роботу и привязка робота к учетной записи пользователя;
- регистрация и авторизация пользователя в системе и автоматическая авторизация на сервере при каждом запуске приложения, если пользователь зарегистрирован;
- установления связи с роботом для взаимодействия напрямую с роботом через технологию Bluetooth;
- управление роботом;
- синтез речи;
- распознавание речи с преобразованием в текст;
- отображение видео с камеры робота;
- передачи видео на другое мобильное устройство;
- установления связи с сервером для взаимодействия с сервером.

4) База данных системы состоит из 14 таблиц. Перечень основных таблиц Базы:

- пользователи — зарегистрированные пользователи, записи создаются при регистрации пользователей;

- персонa — субъекты, знакомые роботу; записи создаёт и модифицирует робот; субъектом является, конечно, управляющий пользователь, но не только; это и другие живые существа, которых робот опознаёт, как самодвижущиеся объекты, возможно, живые и возможно, люди;

- диалог — таблица, связанная с таблицами «сообщение пользователя» и «сообщение робота», в которых раздельно хранятся сообщения отправленные пользователем и роботом;

- робот — информация о самом роботе, его имя, дата активации; связана с таблицей «модель робота», в которой содержатся вся информация о некоторой конкретной модели робота, и с таблицей «статистика робота», в которой сохраняется информация о состоянии робота и получаемой информации с датчиков;

- сессия_клиента – описывает клиентов, которые подключились к серверу, но еще не авторизовались; здесь сохраняются данные о попытке авторизации, введенный логин и пароль, ip клиента и время попытки авторизации;

- сессия_робота – хранятся данные о подключении робота к серверу, ip адрес, id робота и время подключения и отключения от сервера;

- сессия_пользователя - хранятся данные о подключении пользователя к серверу, ip адрес, идентификационный номер пользователя и время подключения и отключения от сервера.

4. Разработанные роботы

Робот ТЕО - гуманоидный робот (см. рис. 2), созданный для социальной сферы, для работы в качестве экскурсовода и робота-промоутера.

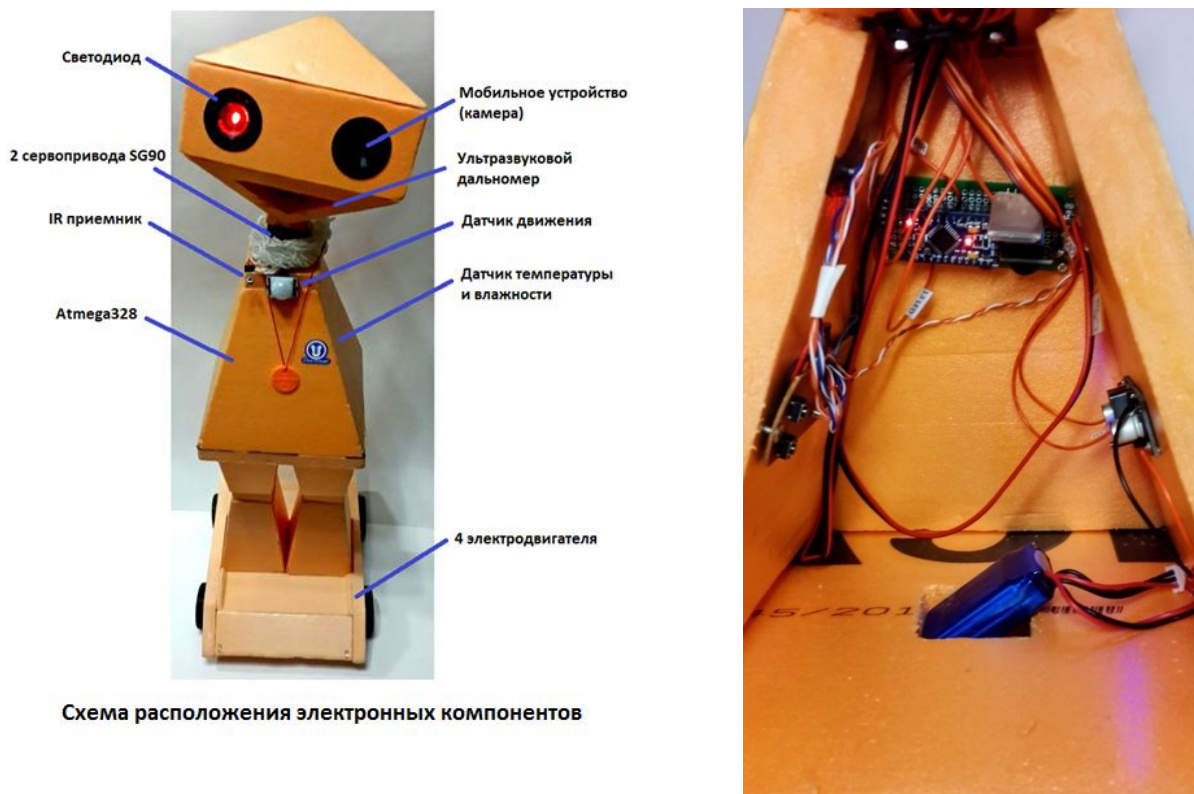


Рис. 2. Робот ТЕО. Слева: внешний вид; справа: внутреннее устройство

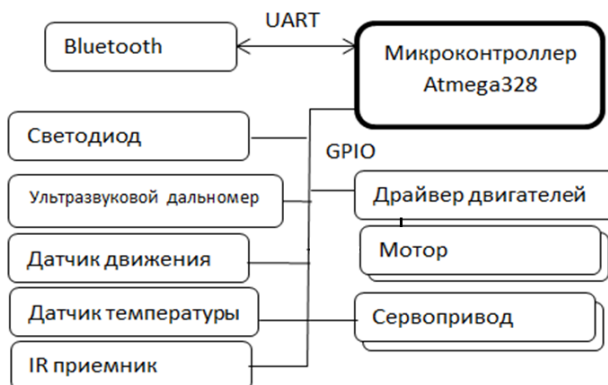


Рис. 3. Структура робота ТЕО

В данном роботе установлены два сервопривода для вращения головы по двум осям. В голове в одном глазу установлен светодиод отображающий статус робота. А другой глаз служит выходом для камеры мобильного устройства, которое устанавливается в голову робота. На передней стороне робота расположен датчик движения и ИК приемник для управления роботом с пульта дистанционного управления. Внутри робота располагается материнская плата, к которой подключаются все датчики робота. На ней же находится микроконтроллер Atmega328.

Структура робота ТЕО представлена на рис. 3. На рисунке видно, что все компоненты подключаются к микроконтроллеру через GPO. Bluetooth модуль передает полученные данные через UART. На рис. 4 представлена принципиальная электрическая схема.

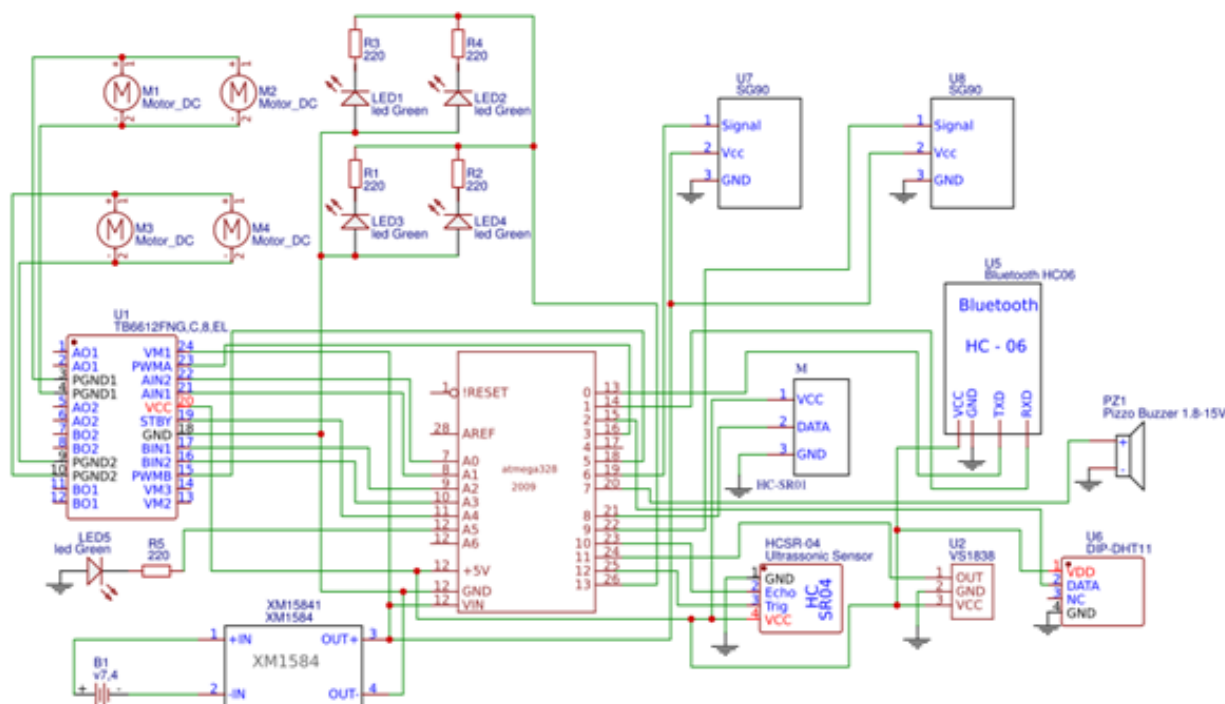


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема робота ТЕО.

Робот ТЕО прошел апробацию путем проведения экскурсии в музее УлГУ, представлялся на региональной ИТ-конференции «Стачка-2018».

Робот ARTI - предназначен для общения и помощи в быту. Его отличительной особенностью является наличие ног, благодаря которым он может ходить. Так же робот оснащен руками с двумя степенями свободы, которыми он более интерактивно взаимодействует с людьми. Всего в роботе установлено 11 сервоприводов, каждый из которых обладает крутящим моментом в 10кг*см. В голове робота установлен экран, на котором отображается мимика в виде улыбки. Внешний вид робота представлен на рис. 5.

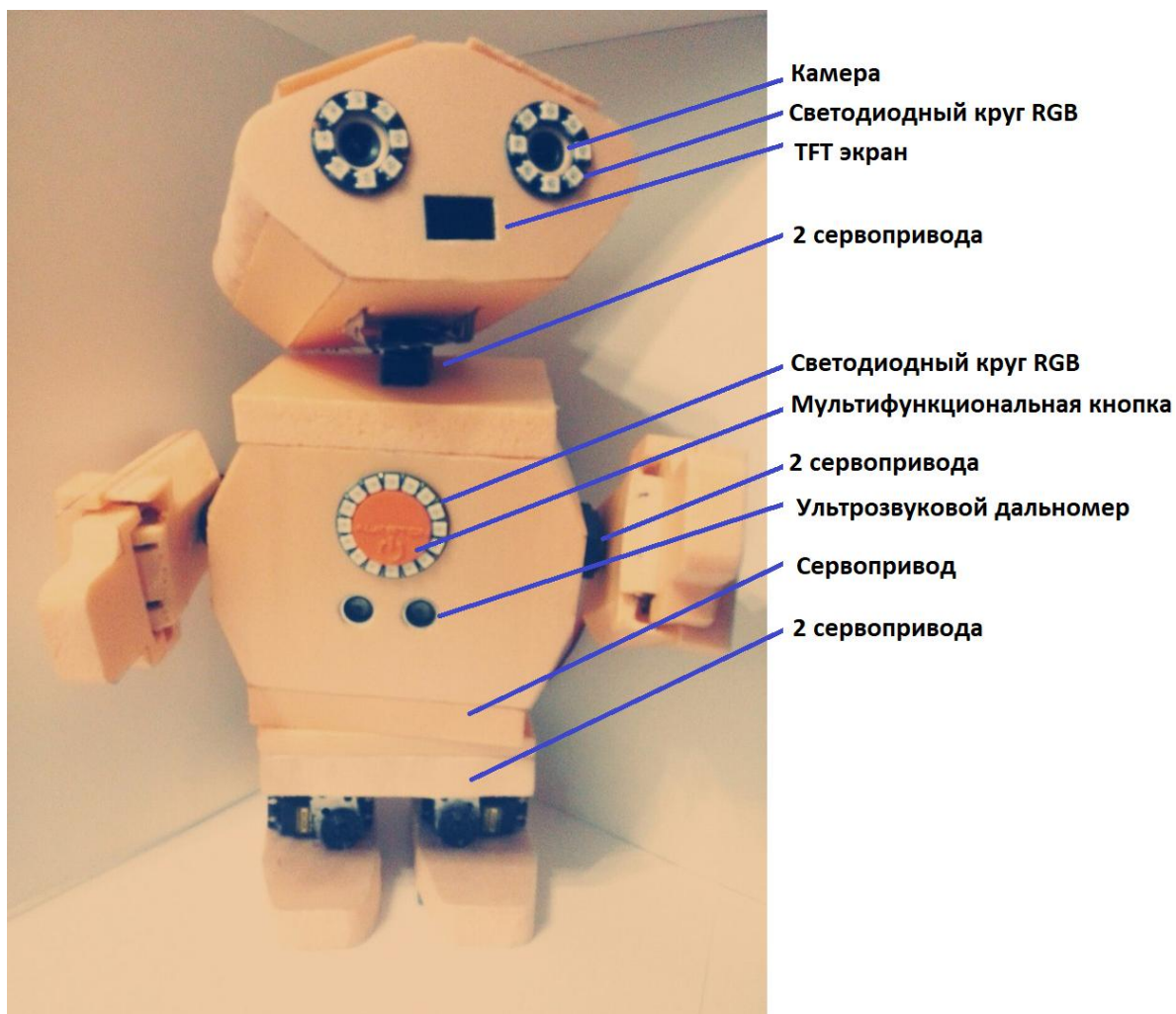


Рис. 5. Робот ARTI — внешний вид

Основным отличием данного робота в аппаратной части является наличие одноплатного компьютера, с помощью которого робот может самостоятельно осуществлять распознавание и синтез речи и подключаться к серверу системы. За управление и считывание большинства показаний с датчиков отвечает микроконтроллер, а обработку полученных данных осуществляет одноплатный компьютер. Микроконтроллер и компьютер обмениваются данными через двунаправленный асинхронный последовательный интерфейс UART.

Робот EVA — разработан с применением технологий 3D-моделирования. Корпус робота спроектирован в среде 3D моделирования - Blender, SolidWorks и 3D Builder - и состоит из 50 деталей. Внешний вид робота представлен на рис. 6, структура робота EVA представлена на рис. 7. Принципиальная электрическая схема представлена на рис.8. Технические характеристики разработанных роботов представлены в таблице 1.

5. Типы подключений к серверу системы

Разработанная архитектура позволяет осуществлять два типа подключения: локальное и глобальное. Схема типов подключений представлена на рис. 9.

Локальное подключение используется для управления роботом при малых расстояниях между роботом и пользователем. Данное подключение осуществляется по технологии Bluetooth, причем могут использоваться разные версии Bluetooth, либо через локальную сеть (кабельный Ethernet). Другие виды локального подключения в данной реализации не рассматривались.

Локальное подключение реализуется с использованием:

- Bluetooth классический — радиус действия 10 метров, длина пакета 1021 байт;
- Bluetooth Low Energy — радиус действия 100 метров, длина пакета 27 байт, потребление энергии в два раза ниже.

Глобальное подключение (через Интернет-мобильный, то есть, Интернет через сотовую связь) используется для осуществления управления роботом при значительном удалении пользователя от робота. В данном режиме можно управлять роботом из любой точки интернета.

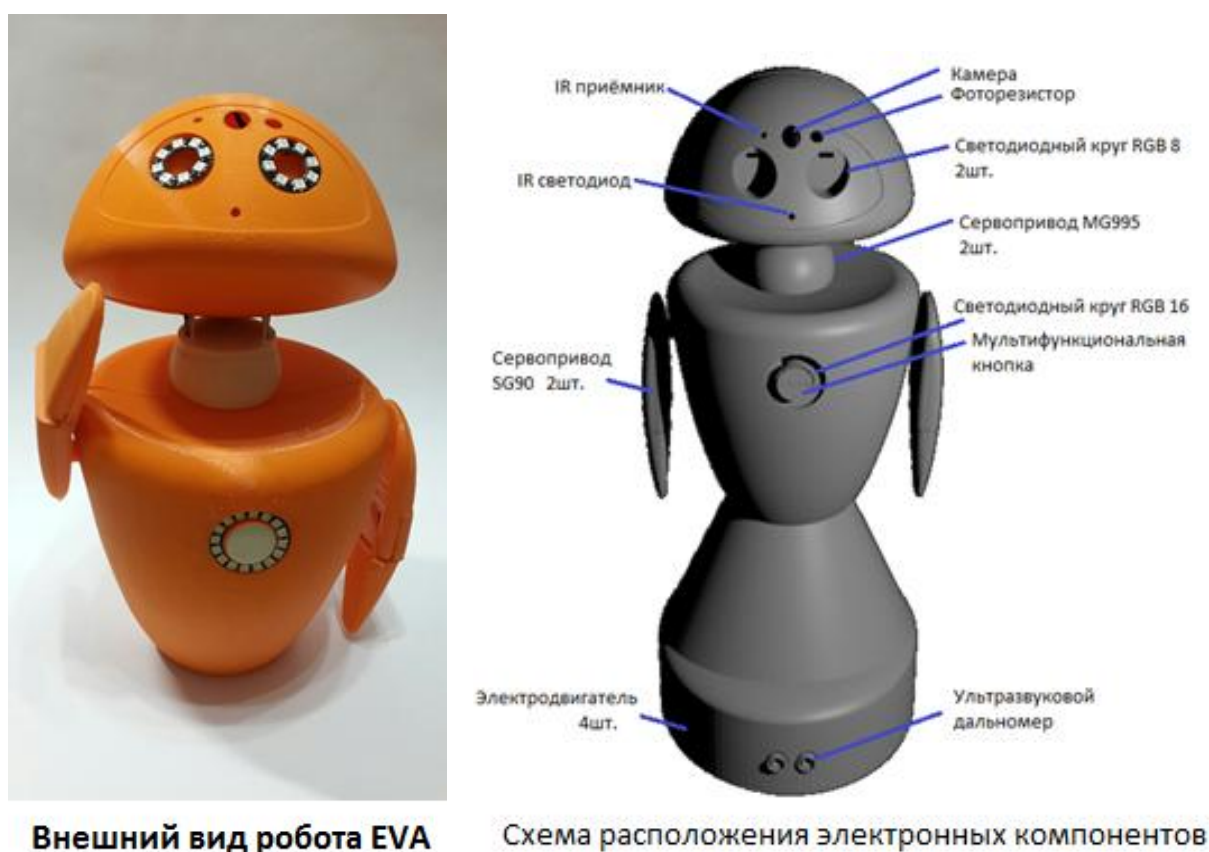


Рис. 6. Робот EVA — внешний вид и устройство.

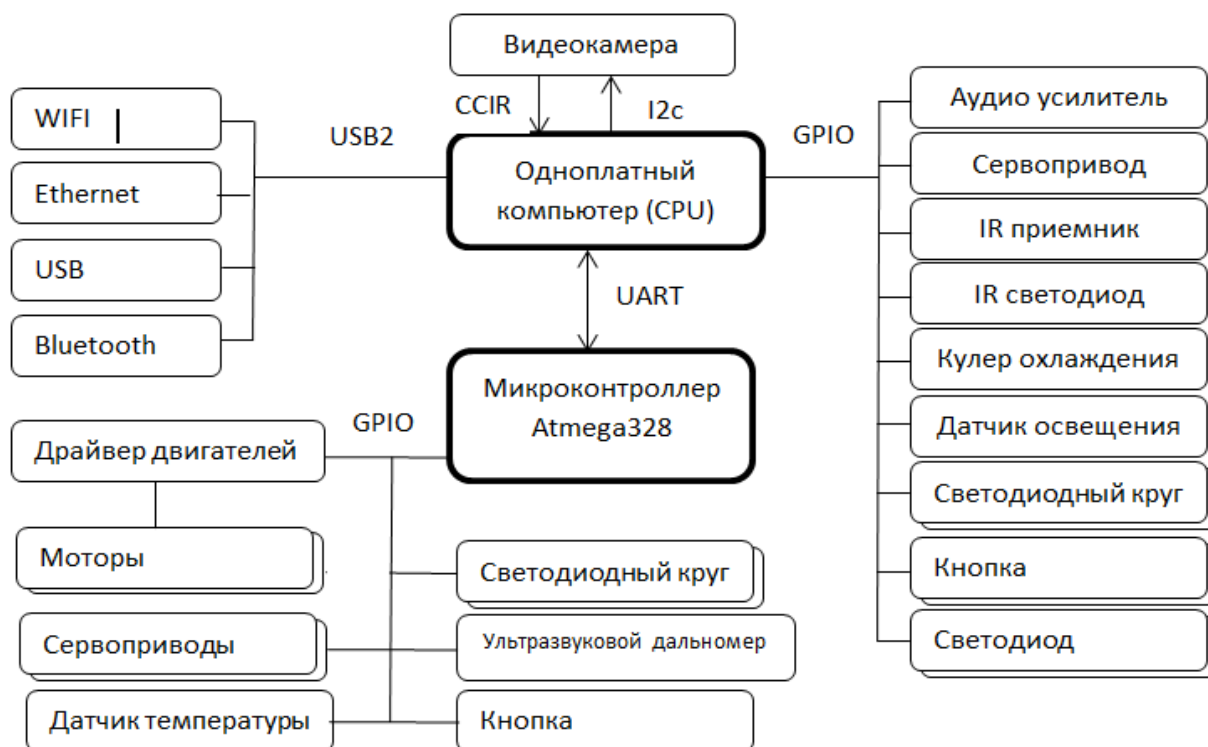


Рис. 7. Структура робота EVA

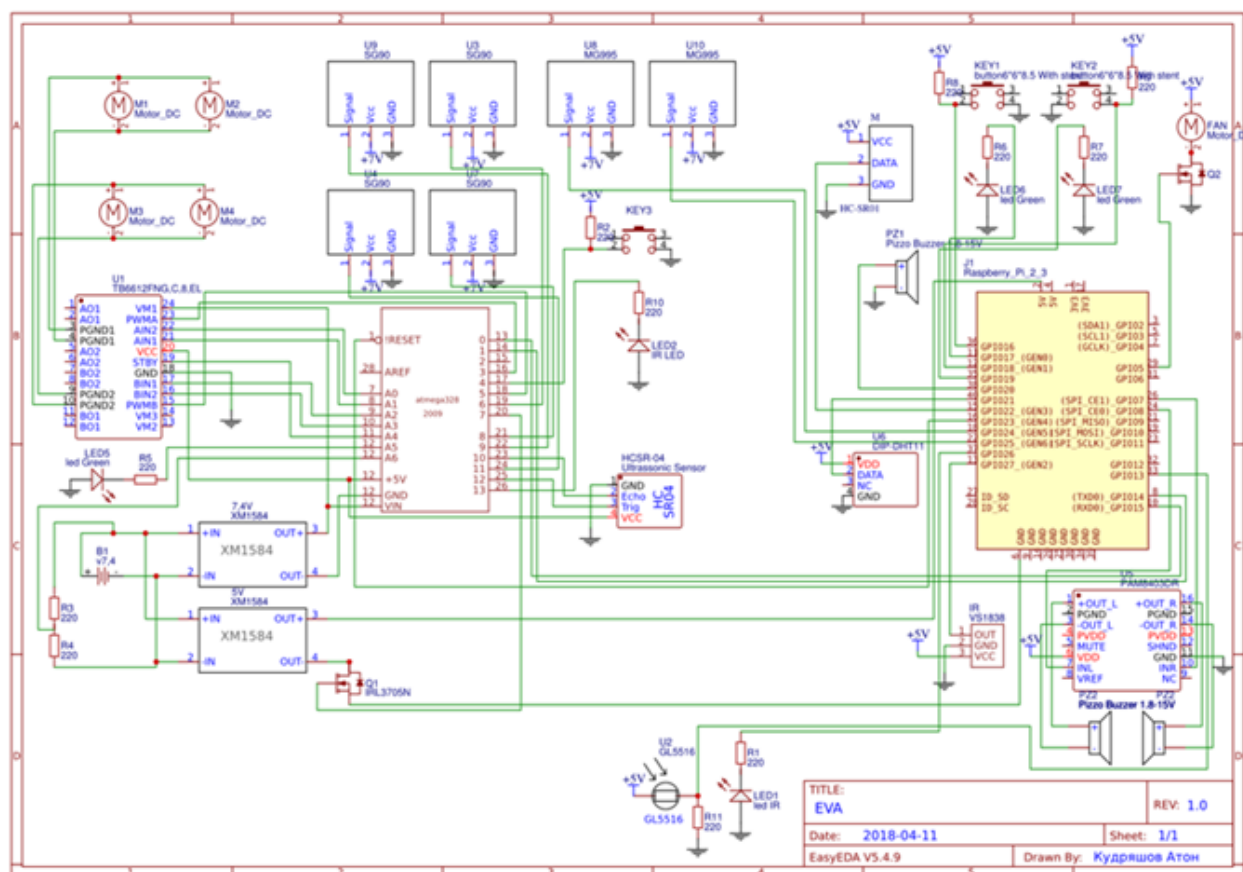


Рис. 8. Принципиальная электрическая схема робота EVA

Таблица 1

Технические характеристики роботов

Роботы/ Критерии	ТЕО	ARTI	EVA
Материал	Экструдированный пенополистирол	Экструдированный пенополистирол	PLA (полилактид)
Аккумулятор	1500 мАч	2500 мАч	2500 мАч
Время автономной работы	8 часов	4 часа	8 часов
Степени свободы	4	11	8
Процессор	ATmega328 16 МГц	ATmega328 16 МГц	ATmega328 16 МГц
		4-ядерный ARM Cortex-A53 1,2 ГГц	4-ядерный ARM Cortex-A53 1,2 ГГц
ОЗУ	2 Кб	2 Кб / 1 Гб	2 Кб / 1 Гб
ПЗУ	32 Кб	32 Кб / 32 Гб	32 Кб / 32 Гб
Встроенная ОС	-	Android things	Android things
Камера	Опционально	5MP 2592x1944px	5MP 2592x1944px
Связь	Bluetooth, IR	WiFi, Ethernet, Bluetooth, IR	WiFi, Ethernet, Bluetooth, IR
Датчики	Движения, дальномер температуры, влажности	Движения, дальномер, гироскоп температуры, влажности, освещенности, TFT экран	Движения, дальномер температуры, влажности, освещенности

Глобальное подключение реализуется с использованием стека TCP/IP. Для передачи данных это подключение использует TCP сокет, в котором данные передаются в JSON формате с шифрованием RSA. При глобальном подключении управление роботом возможно двух видов:

- когда робот подключается непосредственно к серверу, используя WiFi, или Ethernet;
- когда пользователь, используя мобильное устройство, подключается к роботу, используя технологию Bluetooth и одновременно мобильное устройство подключается к серверу системы, тем самым образуя мост между сервером и роботом; данный способ ак-

туален, когда по каким-либо причинам нет возможности для робота подключаться напрямую к серверу.

Переключение между режимами может происходить автоматически: при обрыве активного подключения, система осуществляет поиск другого доступного маршрута связи клиента с роботом.

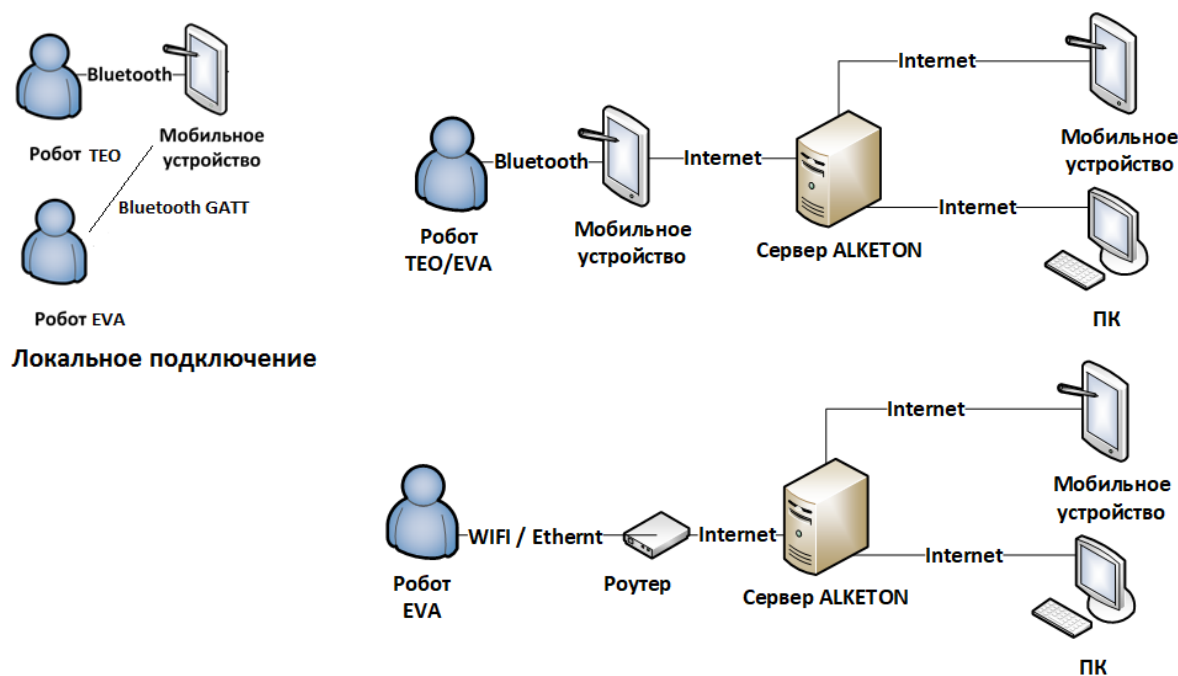


Рис. 9. Типы подключений: слева — локальное, справа — через Интернет.

Заключение

Отличительной чертой предлагаемого решения является использование уникальной централизованной системы управления и обработки данных, взаимодействующей с роботами через глобальную сеть интернет с использованием сотовых сетей связи и сетевой технологии микросетей BlueTooth, что позволяет осуществить многопользовательский режим работы с большим числом роботов и пользователей, повысить функциональность и надежность системы при достаточно малой ее себестоимости.

Апробация разработанной роботехнической системы «АЛКЕТОН-УлГУ» проводилась в музее УлГУ, на VII Международной IT-конференции «Стачка-2018» (г. Ульяновск).

Список литературы

1. Соловьева Н. , Для российской роботехники запросят 133 млрд рублей [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.it-world.ru/it-news/it/148781.html> (дата обращения: 08.10.2019).

2. Гуманоидные роботы [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://robotrends.ru/robopedia/antropomorfnye-roboty> (дата обращения: 06.06.2019).
3. Варшавский А. Е. Проблемы развития прогрессивных технологий: робототехника // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2017. Т. 8, № 4, с.682–697.
4. Комков Н. И., Бондарева Н. Н. Перспективы и условия развития робототехники в России // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2016. Т. 7, № 2, с.8–21.