



Интернет роботизированных вещей

Андрей Антонов (robotosha@mail.ru)

В статье представлена концепция Интернета роботизированных вещей (Internet of Robotic Things, IoRT), которая расширяет и объединяет концепции Интернета вещей (IoT) и облачной робототехники (Cloud Robotics), а также рассмотрены архитектура, лежащая в основе данной технологической парадигмы, и те преимущества, которые предоставляет IoRT.

От Интернета вещей к Интернету роботизированных вещей

Впервые идея Интернета вещей была высказана Марком Вейзером на страницах журнала Scientific American ещё в сентябре 1991 года [1]. Под «вещами» в данном случае понимаются всевозможные уникально идентифицируемые встраиваемые электронные устройства. Словосочетание «Интернет вещей» было введено в обиход Кевином Эштоном, работавшим на тот момент в компании Procter&Gamble, уже позже, в 1999 году. Интернет вещей объединяет людей, процессы, устройства и технологии с датчиками и исполнительными устройствами (актуаторами). Интеграция IoT с человеком для коммуникации, совместной работы и получения технической информации позволяет устройствам принимать решения в режиме реального времени. Основой концепции Интернета вещей является повсеместное внедрение в среду, окружающую человека, множества «умных» объектов, оснащённых радиометками, датчиками, актуаторами, интеллектуальными устройствами, которые используют уникальные схемы адресации, защищённые каналы связи и стандартизированные протоколы для коммуникации между разнородными устройствами с целью решения конкретных задач.

В литературе можно найти множество определений для термина «Интернет вещей». Причина различий в восприятии этого понятия, а также существования множества определений для IoT заключается в том, что, в отличие от других технических терминов, «Интер-

нет вещей» скрывает в себе не новую концепцию, а, скорее, новую модель бизнес-процессов, объединяющую в себе различные технологии и средства коммуникации. Большинство технологий, используемых Интернетом вещей для идентификации устройств и создания распределённых систем, известны довольно давно, однако IoT выводит эти технологии на качественно новый уровень, соответствующий растущим социальным, технологическим, политическим и экономическим потребностям современного общества.

Под Интернетом вещей мы будем подразумевать глобальную инфраструктуру информационного общества, которая обеспечивает возможность предоставления более сложных услуг путём объединения физических и виртуальных «вещей» на основе существующих и развивающихся информационно-коммуникационных технологий [2].

Интернет роботизированных вещей представляет собой новую концепцию, объединяющую Интернет вещей и робототехнику, в частности облачную робототехнику. Таким образом, IoRT можно рассматривать как развитие понятия облачной робототехники.

Облачная робототехника представляет собой новую область робототехники, основой которой являются облачные вычисления, облачные хранилища данных и другие существующие интернет-технологии, использующие облачную инфраструктуру и сервисы [3]. Облачные технологии позволяют роботам для решения задач, не требующих выполнения в условиях жёсткого ограничения времени, использовать

мощные вычислительные ресурсы, хранилища и коммуникационные ресурсы современных центров обработки данных. При этом снижаются издержки на обслуживание и обновление программного обеспечения. Выполнение подобных задач непосредственно на устройстве, т.е. вне облака, может неблагоприятно сказываться на энергопотреблении и мобильности роботов. В то же время использование облачных технологий повышает эксплуатационные расходы на обеспечение высокоскоростного обмена данными.

Объединяя понятия Интернета вещей и облачной робототехники, можно сформулировать определение для Интернета роботизированных вещей следующим образом. Интернет роботизированных вещей – это глобальная инфраструктура информационного общества, предоставляющая передовые роботизированные сервисы посредством сетевого объединения роботизированных систем с помощью существующих и развивающихся интероперабельных информационных и коммуникационных технологий. В рамках концепции IoRT интеллектуальные устройства могут отслеживать события, объединять данные датчиков, полученные из различных источников, использовать возможности локального и распределённого искусственного интеллекта для определения оптимальной стратегии решения той или иной задачи и управлять объектами физического мира.

Интернет роботизированных вещей основывается на парадигме облачной робототехники, используя все её преимущества и возможности Интернета вещей, что обеспечивает большую гибкость при проектировании и внедрении новых приложений для сетевой робототехники с применением распределённых вычислений. Несмотря на то что IoRT позволяет использовать возможности облачной робототехники и Интернета вещей, данная технология имеет некоторые принципиальные особенности и ограничения.

АРХИТЕКТУРА IoT

Архитектуру Интернета роботизированных вещей (см. рис.) можно разделить на 5 уровней [4]:

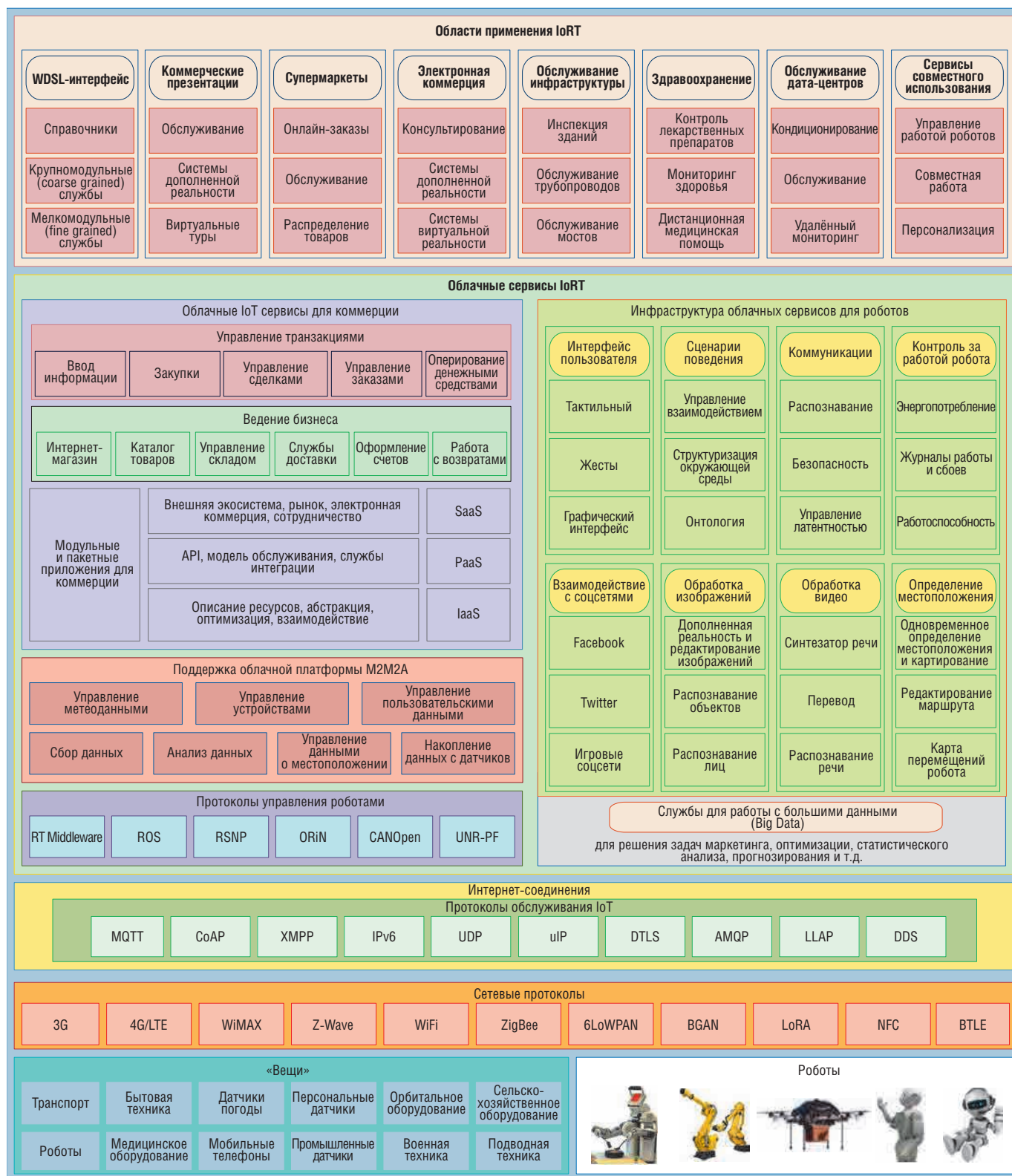
1. Аппаратный уровень (уровень роботизированных вещей).
2. Сетевой уровень.
3. Интернет-уровень.
4. Уровень инфраструктуры.
5. Уровень приложения.

Аппаратный уровень является самым нижним и включает в себя различных роботов и устройства, то есть «вещи», такие как транспортные средства, датчики, смартфоны, аппаратура военного назначения, оборудование для работы под водой, погодные сенсоры, носимая электроника и различные персональные устройства, бытовая техника и промышленные датчики. С технической

точки зрения этот уровень абстракции составляют физические устройства (компоненты реального мира), предоставляющие имеющуюся информацию следующему, сетевому уровню.

На сетевом уровне реализуются различные возможности сетевого подключения:

- сети сотовой связи, работающие в стандартах 3G и LTE/4G;



Концептуальная структура IoT

- технологии ближнего радиуса действия, такие как Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), 6LoWPAN, Broad-Band Global Area Network (BGAN) и NFC, для облегчения соединения роботизированных вещей друг с другом;
- средства для работы на средних и больших дальностях – WiMAX, Z-Wave, ZigBee и LoRA – для бесперебойной передачи информации внутри роботизированной сетевой инфраструктуры, элементы которой разнесены на большие расстояния.

Подключение к Интернету является центральной коммуникационной частью архитектуры IoRT. В интернет-уровень включены некоторые протоколы связи IoT, обеспечивающие энергоэффективную, ресурсосберегающую работу и первичную обработку информации:

- MQTT для публикации и подписки на сообщения;
- CoAP для многоадресных рассылок;
- XMPP для мгновенного обмена сообщениями;
- IPv6, UDP, uIP, DTLS для защищённой передачи данных;
- AMQP для передачи сообщений между компонентами системы;
- LLAP для обеспечения работы в сетях LocalTalk;
- DDS для осуществления распределения данных между интеллектуальными устройствами.

Уровень инфраструктуры является самым важным в архитектуре IoRT. Данный уровень объединяет в себе пять компонентов: робототехническую платформу, облачную платформу M2M2A, облачные бизнес-сервисы IoT, сервисы обработки данных и IoT-инфраструктуру облачной робототехники. Рассмотрим перечисленные компоненты подробнее.

Робототехническая платформа обеспечивает работу таких специализированных роботизированных сервисных технологий, как промежуточное программное обеспечение RT Middleware, операционная система для роботов ROS, сетевой служебный протокол для роботов RSNP, сетевой протокол для автоматизированных систем ORiN, протоколы CANOpen, UNR-PF и т.д.

Облачная платформа M2M2A является реализацией парадигмы «машина – машина – актуатор» (Machine-to-Machine-to-Actuator), которая используется самыми современными роботами и в перспективе рассматривается как ключевое звено в IoRT-системе. Систе-

ма «машина – машина» (M2M) представляет собой совокупность нескольких машин, подключённых к сети, которые обмениваются информацией без вмешательства человека для оптимального выполнения поставленных задач. В таких решениях взаимосвязанные информационные потоки, создаваемые различными датчиками, формируют соответствующую последовательность действий, осуществляемых роботами. Наибольшее значение имеют сбор и накопление данных, их анализ, а также управление устройствами.

Облачные бизнес-сервисы IoT являются абстрактным представлением бизнес-составляющей роботизированных систем IoT. Сюда входят различные системы управления транзакциями и процессами, поддерживаемые такими моделями, как SaaS, PaaS и IaaS. Модульные и упакованные бизнес-ориентированные API облегчают выполнение операций, связанных с электронной торговлей. Одновременно они позволяют описывать данные, выполнять абстрагирование, оптимизацию и согласование с внешней системой. Таким образом, бизнес-облака позволяют организациям и производителям роботов (роботизированных систем) уменьшить накладные расходы на коммерческую деятельность при помощи унифицированных интерфейсов.

IoT-инфраструктура облачной робототехники включена исключительно ради сервисов. Понятие «IoT-облако» можно раскрыть как «модель, предназначенная для содействия информационному обществу, предоставляющая передовые услуги путём объединения физических и виртуальных устройств на основе существующих и развивающихся информационных и коммуникационных технологий». Данная модель подразумевает предоставление повсеместного удобного доступа «по требованию» к общей совокупности конфигурируемых вычислительных ресурсов, которые могут быть быстро подготовлены и запущены в эксплуатацию. В связи с этим важной проблемой становится организация бесперебойного соединения элементов системы между собой и с внешним миром [5]. Таким образом, IoT-облако позволяет роботизированным системам использовать такие сервисы, как обработка изображений, обработка видео, определение местоположения, управление связью, координация с сервисами социальных сетей. При этом особое внимание уде-

ляется сценариям поведения робота и пользовательскому интерфейсу.

Уровень приложения – это самый верхний уровень архитектуры IoRT, предназначенный для реализации пользовательского опыта, полученного в результате изучения конкретной области применения робототехники. Роботы, связанные с IoT, могут активно использоваться в здравоохранении, ЖКХ, электронной коммерции, супермаркетах, в чрезвычайных ситуациях, центрах обработки данных, презентациях и многих других сферах. Возможности робототехники постоянно растут, что обуславливает важность и перспективность данной отрасли.

ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРЫ IoRT

Интернет роботизированных вещей предлагает ряд уникальных возможностей, которые отличают его от традиционных для роботов сервисов, таких как облачная робототехника и сетевая робототехника. Рассмотрим их подробнее.

Совместимость

Для стандартизации нескольких используемых коммуникационных интерфейсов хорошо подходит язык описания веб-сервисов WSDL, что значительно упрощает общее взаимодействие между отдельными роботами (или роботизированными системами) и другими сегментами IoRT. В адресной книге должна храниться информация обо всех развёрнутых службах роботизированных систем. Все службы являются веб-сервисами, и сложные приложения создаются из отдельных веб-компонентов.

Осведомлённость об окружении

Основываясь на информации о физических параметрах и параметрах программного окружения, сенсорные узлы, подключённые к IoRT-системе, получают знания об окружающей ситуации. Принимаемые робототехническими системами решения являются контекстно-зависимыми.

Виртуализированная диверсификация

В предложенной архитектуре IoRT используется особый компонент инфраструктуры, который определяет местоположение робота на специальном «картирующем» слое, т.е. каждому реальному роботу соответствует его

виртуальное представление. В результате конечный пользователь, то есть бизнес, производитель или физическое лицо, запрашивает только те или иные услуги, не заботясь о том, какие реальные физические роботы назначены для решения конкретной задачи. Данная архитектура будет поддерживать и претворять в жизнь идеологию гетерогенной робототехники, где отдельные роботы могут иметь совершенно разную архитектуру оборудования и программного обеспечения. Например, некоторые из применяемых роботов могут использоваться в больницах, другие – в ресторанах, а третьи будут роботами-полицейскими или устройствами, участвующими в спасательных операциях. Таким образом, архитектура IoRT действительно виртуализирована и диверсифицирована по своим характеристикам.

Расширяемость

IoRT-архитектуру нельзя считать законченной без наличия возможностей расширения существующих роботизированных сервисов посредством добавления новых типов роботов в облач-

ный M2M2A модуль либо путём обновления сервисов в IoRT-системе, которые могут быть предложены пользователям и на которые можно легко подписаться через разработанный веб-интерфейс.

Интероперабельность

IoT-устройства могут поддерживать несколько коммуникационных протоколов и взаимодействовать с другими устройствами различных типов и различной инфраструктуры. Таким образом, IoRT является интероперабельным по своей сути.

Динамичность и самоадаптивность

IoT-устройства и системы должны обладать возможностью динамически адаптироваться к меняющимся внешним условиям и уметь действовать в соответствии с текущей ситуацией. Для примера можно рассмотреть систему видеонаблюдения, состоящую из нескольких автоматических камер. Автоматические видеокamеры могут переключаться в нормальный или инфракрасный режим работы в зависимости от времени суток и освещённости. Камеры способны пере-

ключаться из режима низкого разрешения в режим высокого разрешения при обнаружении движения и посылать соответствующие команды соседним видеокamерам и другим вовлечённым роботизированным устройствам. В данном примере автоматические видеокamеры самостоятельно адаптируются к внешней обстановке, основываясь на получаемой ими информации.

Территориально распределённый и повсеместный сетевой доступ

Облачные сервисы обычно доступны посредством сети Интернет и используют её для доставки своих услуг. В связи с этим любое устройство, подключённое к глобальной сети, будь то роботизированная система, смартфон или другое оборудование, может получить доступ к распределённым облачным сервисам. Кроме того, для достижения высокой производительности сети и локализации используют дата-центры, расположенные во многих отдалённых уголках по всему миру. Поставщик услуг может использовать географическую распределённость для извлечения максимальной пользы от сервиса.

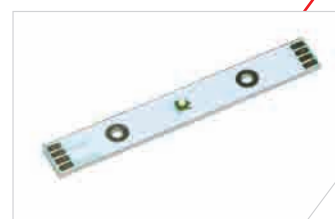
XLight

Серия светодиодных кластеров XLD-Line-XP для декоративной подсветки



Преимущества

- Высокий световой поток
- Деление на отрезки
- Коммутация кластеров в линию произвольной длины
- Диапазон температур $-40...+70^{\circ}\text{C}$
- Срок службы не менее 50 000 часов



(495) 232-1652

info@xlight.ru

www.xlight.ru

Реклама

Одноплатные компьютеры для интеграции IoT с роботами

Параметр	Модель								
	Arduino Uno	Arduino Yun	Intel Galileo Gen 2	Intel Edison	Beagle Bone Black	Electric Imp 003	Raspberry Pi B+	ARM mbed NXP LPC1768	TelosB
Процессор	ATMega328P	ATMega32u4 и Atheros AR9331	Intel® Quark™ SoC X1000	Intel® Quark™ SoC X1000	Sitara AM3358BZC2100	ARM Cortex M4F	Broadcom BCM2835	ARM Cortex M3	MSP430 f1161
Графический процессор (GPU)	-	-	-	-	PowerVR SGX530, 520 МГц	-	VideoCore IV® Multimedia, 250 МГц	-	-
Напряжение питания, В	5	3; 5	5	3,3	3,3	3,3	5	5	3...3,6
Тактовая частота, МГц	16	16 и 400	400	100	1000	320	700	96	8
Разрядность шины, бит	8	8	32	32	32	32	32	32	16
Объём системной памяти	2 Кбайт	2,5 Кбайт и 64 Мбайт	256 Мбайт	1 Гбайт	512 Мбайт	120 Кбайт	512 Мбайт	32 Кбайт	10 Кбайт
Объём флэш-памяти	32 Кбайт	32 Кбайт и 16 Мбайт	8 Мбайт	4 Гбайт	4 Гбайт	4 Мбайт	-	512 Кбайт	48 Кбайт
Объём ПЗУ, Кбайт	1	1	8	-	-	-	-	-	-
Поддерживаемые протоколы связи	IEEE 802.11 b/g/n, IEEE 802.15.4, 433RF, BLE 4.0, Ethernet, Serial	IEEE 802.11 b/g/n, IEEE 802.15.4, 433RF, BLE 4.0, Ethernet, Serial	IEEE 802.11 b/g/n, IEEE 802.15.4, 433RF, BLE 4.0, Ethernet, Serial	IEEE 802.11 b/g/n, IEEE 802.15.4, 433RF, BLE 4.0, Ethernet, Serial	IEEE 802.11 b/g/n, IEEE 802.15.4, 433RF, BLE 4.0, Ethernet, Serial	IEEE 802.11 b/g/n, IEEE 802.15.4, 433RF, BLE 4.0, Ethernet, Serial	IEEE 802.11 b/g/n, IEEE 802.15.4, 433RF, BLE 4.0, Ethernet, Serial	IEEE 802.11 b/g/n, IEEE 802.15.4, 433RF, BLE 4.0, Ethernet, Serial	CC2420
Среда разработки	Arduino IDE	Arduino IDE	Arduino IDE	Arduino IDE, Eclipse, Intel XDK	Debian, Android, Ubuntu, Cloud9 IDE	Electric Imp IDE	NOOBS	C/C++ SDK, онлайн-компилятор	Eclipse IDE
Язык программирования	Wiring	Wiring	Wiring, Wyliodrin	Wiring, C, C++, Node.js, HTML5	C, C++, Python, Perl, Ruby, Java, Node.js	Squirrel	Python, C, C++, Java, Scratch, Ruby	C, C++	C, NesC
Порты ввода/вывода	SPI, I ² C, UART, GPIO	SPI, I ² C, UART, GPIO	SPI, I ² C, UART, GPIO	SPI, I ² C, UART, I ² S, GPIO	SPI, I ² C, UART, MsASP, GPIO	SPI, I ² C, UART, GPIO	SPI, I ² C, DSI, SDIO, CSI, UART, GPIO	SPI, I ² C, CAN, GPIO	USB Serial, GPIO

Подходящие для архитектуры IoT роботы

Роботы делятся на две категории: промышленные и сервисные [6]. Промышленные роботы подразделяются на следующие группы:

- промышленные манипуляционные роботы, выполняющие основные технологические операции;
- промышленные транспортные роботы, осуществляющие внутрицеховые и межцеховые перемещения грузов.

Сервисные роботы, в свою очередь, классифицируются по следующим признакам:

- возможность передвижения (мобильные, стационарные, экзоскелеты);
- область применения.

Вне зависимости от области применения, практически любой программируемый робот, оснащённый каналом связи (проводным или беспроводным), может быть подключён к инфраструктуре IoT для выполнения задач в качестве конечного исполнительного устройства или же для получения информации от этого робота. Информацию о роботе можно

получать со считывателей RFID, навигационной системы, видеокamer и других датчиков для сбора информации об окружающем робота пространстве и его собственном местоположении и состоянии.

ПРОЦЕССОРНЫЕ УСТРОЙСТВА IoT

В структуре IoT можно выделить 5 основных уровней:

1. Уровень приложений – REST API, объекты JSON-IPSO, двоичные объекты.
2. Транспортный уровень – протоколы CoAP, MQTT, XMPP, AMQP, LLAP, DDS, SOAP, UDP, TCP, DTLS.
3. Интернет-уровень – протоколы 6LoWPAN, IPv6, uIP, NanoIP.
4. Канальный уровень – протоколы IEEE 802.15.4, IEEE 802.11, ISO/IEC 18092:2004, NB-IoT, EC-GSM-IoT, Bluetooth, Eddystone, ANT, ISA100.11a, EnOcean, LTE-MTC.
5. Физический уровень – устройства и объекты.

Как уже упоминалось выше, относящиеся к Интернету вещей коммуникационные технологии, включая прото-

колы, облачные сервисы и ресурсы для решения задач управления, уже включены в архитектуру IoT. Примеры одноплатных компьютеров (процессорных устройств), совместимых со стандартами IoT, приведены в таблице.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. Weiser. The Computer for the 21st Century. Scientific American Special Issue on Communications, Computers, and Networks. September, 1991.
2. Рекомендация МСЭ-Т Y.2060. Обзор Интернета вещей.
3. J. Wan, S. Tang, H. Yan, D. Li, S. Wang, A.V. Vasilakos. Cloud robotics: Current status and open issues. IEEE Access, vol. 4, pp. 2797–2807, 2016.
4. P.P. Ray. Internet of Robotic Things: Concept, Technologies, and Challenges. IEEE Access, vol. 4, pp. 9489–9500, 2016.
5. P.P. Ray. Creating values out of Internet of Things: An industrial perspective. J. Comput. Netw. Commun., vol. 2016, Sep. 2016, Art. no. 1579460.
6. ИСО 8373:2012. Роботы и робототехнические системы. Словарь.



ЗАО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «ДОЛОМАНТ»

**РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО
ВЫСОКОНАДЕЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

100% РОССИЙСКАЯ КОМПАНИЯ



ЗАКАЗНЫЕ РАЗРАБОТКИ

Разработка электронного оборудования по ТЗ заказчика в кратчайшие сроки

- Модификация КД существующего изделия
- Разработка спецвычислителя на базе СОМ-модуля
- Конфигурирование модульного корпусированного изделия
- Сборка магистрально-модульной системы по спецификации заказчика
- Разработка изделия с нуля



КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Контрактная сборка электроники уровней: модуль / узел / блок / шкаф / комплекс

- ОКР, технологические консультации и согласования
- Макеты, установочные партии, постановка в серию
- Полное комплектование производства импортными и отечественными компонентами и материалами
- Поддержание складов, своевременное анонсирование снятия с производства, подбор аналогов
- Серийное плановое производство
- Тестирование и испытания по методикам и ТУ
- Гарантийный и постгарантийный сервис