

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»  
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

*Е.В. ГЛУШАК, А.В. КУПРИЯНОВ*

## ВВЕДЕНИЕ В ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве учебного пособия для обучающихся по основной образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

САМАРА  
Издательство Самарского университета  
2023

УДК 004.7(075)+004.9(075)

ББК 381я7

Г555

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Н. Н. В а с и н ,  
канд. техн. наук, доц. С. В. П а л ь м о в

*Глушак, Елена Владимировна*

Г555 **Введение в Интернет вещей:** учебное пособие /  
*Е.В. Глушак, А.В. Курьянов.* – Самара: Издательство Самарского университета, 2023. – 104 с.: ил.

**ISBN 978-5-7883-2010-6**

Учебное пособие включает главы, посвящённые определённым разделам курса «Введение в Интернет вещей». Каждая глава сопровождается примерами, пояснениями и контрольными вопросами, направленными на повышение качества усвоения материала.

Дисциплина входит в раздел технических дисциплин по направлению подготовки 2.2.15 Системы, сети и устройства телекоммуникаций, рекомендована для научной специальности 2.3.8 Информатика и информационные процессы, а также предназначена для обучающихся по основной образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств.

Подготовлено на кафедре технической кибернетики.

УДК 004.7(075)+004.9(075)

ББК 381я7

ISBN 978-5-7883-2010-6

© Самарский университет, 2023

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	5
<b>1 Общие положения Интернета вещей</b> .....	7
1.1 Определение Интернета вещей .....	7
1.2 Беспроводные сенсорные сети .....	8
1.3 Интернет нано-вещей .....	11
1.4 Когнитивный Интернет вещей СIoT .....	14
1.5 Сети Интернета вещей .....	18
1.6 Типовая архитектура сетей связи Интернета вещей .....	20
1.7 Идентификация устройств Интернета вещей .....	22
1.8 Зрелость концепции IoT и составляющих ее технологий .....	27
Контрольные вопросы по главе 1 .....	28
<b>2 Стандартизация Интернета вещей</b> .....	29
2.1 Эталонная модель IoT .....	29
2.2 Архитектура IoT .....	32
Контрольные вопросы по главе 2 .....	36
<b>3 Области применения Интернета вещей</b> .....	37
3.1 «Умная планета» .....	37
3.2 «Умный город» .....	38
3.3 «Умный дом» .....	40
3.4 «Умная энергия» .....	46
3.5 «Умный транспорт» .....	47
3.6 «Умная жизнь» .....	49
3.7 Умная носимая электроника .....	51
3.8 Индустриальный (промышленный) Интернет вещей ПоТ .....	52
3.9 Социальный Интернет вещей .....	54
3.10 Семантический Интернет вещей .....	55
Контрольные вопросы по главе 3 .....	58

<b>4 Стандарты и протоколы передачи данных IoT</b> .....	59
4.1 Обзор существующих протоколов.....	60
Контрольные вопросы по главе 4 .....	64
<b>5 Методы разработки приложений для IoT</b> .....	65
5.1 Создание приложения для «умного» устройства .....	65
5.2 IoT в разработке мобильных приложений .....	66
5.3 Инструменты и методы разработки приложений IoT .....	69
Контрольные вопросы по главе 5 .....	72
<b>6 Программы для проектирования устройств IoT</b> .....	73
Контрольные вопросы по главе 6 .....	81
<b>7 Моделирование микроконтроллеров IoT в Tinkercad</b> .....	83
7.1 Принципы функционирования микроконтроллеров IoT. Контроллеры в решениях IoT.....	83
7.2 Устройство контроллеров.....	85
7.3 Разработка программ для контроллеров .....	89
7.4 Среда моделирования Tinkercad .....	90
Контрольные вопросы по главе 7 .....	94
<b>8 Моделирование IoT в программе CapCarbon и AnyLogic</b> .....	95
Контрольные вопросы по главе 8 .....	101
<b>Список литературы</b> .....	102

## ВВЕДЕНИЕ

При внедрении Интернета вещей вся наша повседневная жизнь кардинально изменилась. Концепция IoT играет определяющую роль в дальнейшем развитии не только инфокоммуникационной отрасли, но и других отраслей. И хотя на международном уровне данная концепция уже обретает черты сформировавшейся технологии, для нее ведутся активные работы в области стандартизации архитектуры, технических компонентов, приложений, но одновременно столь же велико количество мнений о том, как именно в дальнейшем будет функционировать Интернет вещей.

Авторы полагают, что для будущих специалистов необходимо будет знать принципы Интернета вещей, а также уметь моделировать средства IoT в программных пакетах.

При подготовке теоретического курса авторы руководствовались книгами ученых России, а именно А.В. Рослякова, А.Ю. Гребешкова, А.Е. Кучерявого и др.

Дисциплина входит в раздел технических дисциплин по направлению 2.2.15 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций», рекомендована для специальностей 2.3.8 «Информатика и информационные процессы», а также предназначена для обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по направлению подготовки 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств».

Первая глава посвящена общим положениям интернета вещей, вторая – основана на принципах стандартизации IoT, в третьей подробно рассмотрены области применения Интернета вещей, в четвертой главе рассмотрены протоколы передачи данных. Далее в пятой главе рассмотрены методы разработки приложений для IoT, в ше-

стой – программы для проектирования средств IoT, в седьмой – показаны возможности моделирования микроконтроллеров IoT в программе Tinkercad. В восьмой главе данного пособия рассмотрены и другие программы для моделирования составляющих IoT, такие как CapCarbon и AnyLogic.

Данное пособие представляет собой полный курс лекций по курсу «Введение в Интернет вещей», читающийся в институте информатики и кибернетики Самарского университета и соответствует учебной программе по этому курсу.

# 1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

## 1.1 Определение Интернета вещей

Идея Интернета вещей сама по себе очень проста. Предположим, что все окружающие нас предметы и устройства (домашние приборы и утварь, одежда, продукты, автомобили, промышленное оборудование и др.) снабжены миниатюрными идентификационными и сенсорными (чувствительными) устройствами. Тогда при наличии необходимых каналов связи с ними можно не только отслеживать эти объекты и их параметры в пространстве и во времени, но и управлять ими, а также включать информацию о них в общую «умную планету» [1]. В самом общем виде с инфокоммуникационной точки зрения Интернет вещей можно записать в виде следующей символической формулы:

$$\text{IoT} = \text{Сенсоры (датчики)} + \text{Данные} + \text{Сети} + \text{Услуги}.$$

Проще говоря, Интернет вещей – это глобальная сеть компьютеров, датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств (актуаторов), связывающихся между собой с использованием интернет протокола IP (Internet Protocol) [1]. Например, для решения определенной задачи компьютер связывается через публичный интернет с небольшим устройством, к которому подключен соответствующий датчик (например, температуры), как это показано на рис. 1.1.

Очевидно, что при внедрении Интернета вещей вся наша повседневная жизнь кардинально изменится. Уйдут в прошлое поиски нужных вещей, дефициты товаров или их перепроизводство, кражи автомобилей и мобильных телефонов, поскольку будет точно из-

вестно, что, в каком месте и в каком количестве находится, производится и потребляется. Если все объекты (вещи) будут снабжены миниатюрными радиометками, то их можно будет дистанционно идентифицировать, а при наличии определенного «интеллекта» – и управлять ими.



Рис. 1.1. Связь компьютера и Интернета

Концепция IoT играет определяющую роль в дальнейшем развитии инфокоммуникационной отрасли. Это подтверждается как позицией Международного союза электросвязи (МСЭ) и Европейского Союза в данном вопросе, так и включением Интернета вещей в перечень прорывных технологий в Китае и других странах.

И хотя на международном уровне данная концепция уже обретает черты сформировавшейся технологии, для нее ведутся активные работы в области стандартизации архитектуры, технических компонентов, приложений, но одновременно столь же велико количество мнений о том, как именно будет построен Интернет вещей [1].

## 1.2 Беспроводные сенсорные сети

Так как базовые составляющие Интернета вещей, такие как беспроводные сенсорные сети (Wireless Sensor Network, WSN), коммуникации малого радиуса действия (NFC, Near Field



Communication) и межмашинные коммуникации (M2M, Machine-to-Machine), уже прошли пик завышенных ожиданий и находятся на третьем этапе – избавления от иллюзий, для того чтобы концепция IoT получила стабильное развитие в будущем, необходима ее практическая востребованность. А это случится, если Интернет вещей продемонстрирует на практике новые, более широкие возможности коммуникаций любых вещей в различных областях человеческой деятельности [1, 2]. Определим основные понятия сенсорных сетей [2].

Сенсор (англ., sensor) – устройство, которое воспринимает контролируемое воздействие (свет, давление, температуру и т.п.), измеряет его количественные и качественные характеристики и преобразует данные измерения в сигнал. Сигнал может быть электрический, химический или другого типа.

Датчик (англ., transducer) – устройство, которое используется для преобразования одного вида энергии в другой. Следовательно, сенсор также является датчиком, который преобразует физическую информацию в электрическую, которая может быть передана вычислительной системе или контроллеру для обработки.

Актуатор (англ., actuator) – исполнительное устройство, которое реагирует на поступивший сигнал для изменения состояния управляемого объекта. В актуаторе происходит преобразование типов энергии, например, электрическая энергия, либо энергия сжатого (разреженного) воздуха (жидкости, твёрдого тела) преобразуется в механическую.

Сенсорный узел (англ., sensor node) – это устройство, которое состоит, по крайней мере, из одного сенсора (может также включать один или нескольких актуаторов), и имеет вычислительные и проводные или беспроводные сетевые возможности.

Сенсорная сеть – система распределенных сенсорных узлов, взаимодействующих между собой, а также с другими сетями для запросов, обработки, передачи и предоставления информации, полу-

ченной от объектов реального физического мира с целью выработки ответной реакции на данную информацию.

Таким образом, беспроводная сенсорная сеть (БСС) включает в себя как минимум сенсоры, актуаторы и коммуникационные узлы. Основной областью применения сенсорной сети является контроль и мониторинг измеряемых параметров физических сред и объектов и в некоторых случаях – управление этими объектами (активация в них определенных процессов).

Примеры сенсорных сетей: всепроникающие сенсорные сети (USN – Ubiquitous Sensor Network), сети для транспортных средств (VANET – Vehicular Ad Hoc Network), муниципальные сети (HANET – Home Ad hoc Network), медицинские сети (MBAN(S) – Medicine Body Area Network (services)) и др.

Благодаря таким характеристикам БСС, как миниатюрность узлов, низкое энергопотребление, встроенный радиointерфейс, достаточная вычислительная мощность, сравнительно невысокая стоимость, стало возможным их широкое использование во многих сферах человеческой деятельности с целью автоматизации процессов сбора информации, мониторинга и контроля характеристик разнообразных технических и природных объектов.

БСС целесообразно применять в следующих предметных областях Интернета вещей:

- мониторинг телекоммуникационной инфраструктуры сетей;
- мониторинг транспортных магистралей (железных дорог, метрополитена и др.), нефте- и газопроводов, инженерных сетей энерго- и теплоснабжения;
- контроль и анализ транспортных грузопотоков;
- экологический, биологический и медицинский мониторинг;
- автоматизация систем жизнеобеспечения в системах класса «Умный дом»;

– выявление и предупреждение чрезвычайных ситуаций (мониторинг сейсмической активности и вулканической деятельности, анализ атмосферы и прогноз погоды для своевременного предупреждения о наступлении стихийных бедствий) и другие.

Основные действия, выполняемые при работе сенсорных сетей, представлены на рис. 1.2 (пунктиром показаны необязательные процессы).

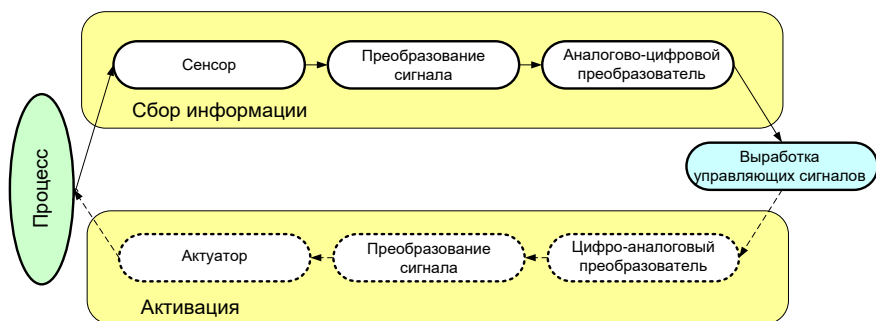


Рис. 1.2. Сбор данных и управление в сенсорных сетях

### 1.3 Интернет nano-вещей

Нано-технологии привели к разработке миниатюрных устройств, размеры которых варьируются от одного до нескольких сотен нано-метров (рис. 1.3).

На этом уровне нано-машины состоят из нано-компонентов и представляют себя отдельные функциональные блоки, способные выполнять простые измерительные, регулирующие или управляющие операции. Координация и обмен информацией между нано-устройствами позволяют образовывать так называемые нано-сети [1]. В случае соединения нано-устройств с существующими сетями и Интернетом возникает новая сетевая парадигма, называемая Интернетом nano-вещей

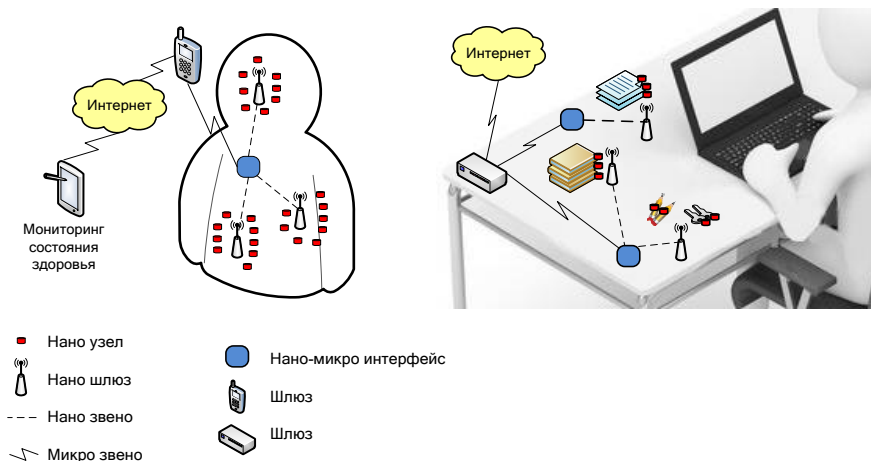


Рис. 1.3. Примеры архитектуры Интернета nano-вещей

Независимо от области применения, основными компонентами архитектуры сети Интернета nano-вещей являются [1, ]:

1. Нано-узлы – миниатюрные и простейшие nano-устройства. Позволяют выполнять простейшие расчеты, имеют ограниченную память и ограниченную дальность передачи сигналов. Примерами нано-узлов могут быть биологические nano-сенсоры на человеческом теле или внутри него или nano-устройства, встроенные в повседневные окружающие нас вещи – книги, часы, ключи и т.д.

2. Нано-шлюзы – данные nano-устройства имеют относительно высокую производительность по сравнению с нано-узлами и выполняют функцию сбора информации от нано-узлов. Кроме того, нано-шлюзы могут контролировать поведение нано-узлов путем выполнения простых команд (вкл./выкл., режим сна, передать данные и т.д.).

3. Нано-микро интерфейсы – устройства, собирающие информацию от нано-шлюзов, и передающие её во внешние сети. Данные устройства включают в себя как nano-технологии коммуникаций,

так и традиционные технологии для передачи информации в существующие сети.

4. Шлюз – данное устройство осуществляет контроль всей nano-сети через сеть Интернет.

Основные коммуникационные проблемы практической реализации nano-сетей:

### **1. Полоса частот.**

Особенности технологий связи между nano-устройствами во многом зависят от полосы используемых частот при взаимодействии электромагнитных nano-приемо-передатчиков и используемых nanoантенн. В настоящее время одним из наиболее перспективных материалов для использования в nano-устройствах является графен.

### **2. Кодирование и модуляция.**

Nano-устройства из-за своих небольших размеров и низкой производительности требуют простых методов модуляции сигналов. Учитывая большую пропускную способность, которую может предоставить терагерцовый диапазон, обмен может производиться очень короткими импульсами, длиной всего несколько фемтосекунд. Это позволит снизить требования к питанию nano-устройств.

### **3. Протоколы nano-сетей.**

Совместный доступ к каналу – различные методы доступа к каналу могут использоваться в nano-сетях в зависимости от метода кодирования информации. Кроме того, нежелательной представляется задача синхронизации нескольких nano-устройств. Поэтому множество разработанных протоколов не подходит для области nano-сетей.

Адресация nano-устройств – в Интернете вещей каждое устройство сети должно иметь свой уникальный IP-адрес. В Интернете nano-вещей данная задача усложняется из-за необходимости сложной синхронизации и координации nano-устройств. Проблемой является и длина адреса, которая в случае nano-сетей была бы

слишком большой. Альтернативой может быть иерархическая адресация устройств в пределах одного шлюза.

Маршрутизация информации – nano-устройства могут запрашивать или отправлять какую-либо информацию из/в командного центра. Данные действия требуют поиска маршрутов для передачи информации. В условиях ограниченной дальности передачи единственным решением является многошаговая маршрутизация.

Проблемы надежности – в Интернете nano-вещей требуется обеспечить гарантию доставки пакетов от командного центра к устройствам и обратно. Надежность сети может страдать как из-за отказа nano-устройств, так и из-за кратковременных интерференций в канале. Определенным приложениям для решения проблемы отказов в сети может быть достаточно увеличения количества nano-устройств.

Сетевая ассоциация и обнаружение сервисов – предполагается, что в Интернете nano-вещей каждый nano-узел будет самостоятельно подсоединяться к сети и информировать другие устройства о его присутствии. Для данных задач необходимы новые протоколы обнаружения сервисов и сетевых ассоциаций.

## **1.4 Когнитивный Интернет вещей СIoT**

Архитектура Интернета nano-вещей может быть представлена в двух различных реализациях – сеть на теле человека VAN (Body Area Network) для контроля за показателями здоровья и отправки их в медицинский центр, и современная офисная сеть, соединяющая множество различных устройств [1].

Сеть на теле человека состоит из nano-сенсоров и nano-актуаторов, которые могут отправлять информацию через внешний шлюз в медицинское учреждение. В данном случае на nano-уровне используются молекулы, протеины, ДНК, органические вещества и основные компоненты клеток. Таким образом, биологические nano-

сенсоры и нано-актуаторы обеспечивают интерфейс между биологической средой человека и электронными нано-устройствами, которые могут использоваться в новой сетевой парадигме – Интернете вещей.

Внутриофисная сеть соединяет множество даже самых небольших устройств с нано-приемопередатчиками, обеспечивающими соединение с сетью Интернет.

Интернет вещей является открытой парадигмой, которая чрезвычайно восприимчива и адаптивна для новых принципов и архитектур, относящихся к различным направлениям развития науки и техники. В этой связи чрезвычайно плодотворным может оказаться использование в IoT принципов и методов когнитивности (лат. «познание, изучение, осознание»). Подход когнитивного Интернета вещей CIoT (Cognitive IoT) представляется актуальным, например, вследствие реализации принципов «когнитивного радио».

Суть когнитивного радио заключается в том, что беспроводные персональные цифровые устройства и связанные с ними сети достаточно разумны в отношении использования радиоресурсов и связанных с ними компьютерных коммуникаций для определения потребностей пользователей связи в зависимости от контекста использования и должны обеспечивать оптимальное использование радиоресурсов и выбор беспроводных услуг, которые наиболее подходят пользователям.

Свойства когнитивных радиосетей обычно проявляются за счет повсеместного использования программного управления сетями и сетевыми элементами. Для получения услуги в когнитивных сетях связи пользователь может использовать многофункциональное абонентское устройство в виде терминала, основанного на принципе программного управления протоколами и параметрами интерфейсов радиодоступа.

Когнитивность означает наличие у объекта IoT следующих свойств [1, 2]:

1) способность к самоанализу и реконфигурации с учётом имеющегося окружения, а также имея в виду достижение целей, обусловленных выполняемыми задачами;

2) способность адаптировать своё состояние согласно имеющимся условиям или событиям, на основе определенных критериев и знаний о предыдущих состояниях;

3) возможность динамически изменять свою топологию и/или эксплуатационные параметры в соответствии с требованиями конкретного пользователя, когда это необходимо в рамках текущей политики обслуживания, оптимизации пропускной способности сети или иных показателей;

4) самоконфигурация с наличием распределенного управления на основе правил;

5) возможность самостоятельного определения своего текущего состояния и, с учетом этого состояния – планирование своей работы, принимая определенные решения в ответ на сложившуюся ситуацию.

Представляется, что когнитивные интернет-вещи смогут:

1) использовать технологии получения знаний о своей операционной и географической среде, местонахождении, например с помощью стандартных технологий позиционирования GPS/ГЛОНАСС;

2) устанавливать самостоятельно или использовать готовые правила взаимодействия между объектами (интернет-вещами);

3) динамически и автономно корректировать свои операционные (рабочие) параметры и протоколы в соответствии с полученными знаниями для достижения заранее определенных целей, в частности выбирать наиболее подходящую технологию передачи радиосигнала; обучаться на основе достигнутых результатов с использованием лучших практик и наиболее эффективных политик для достижения целей создания IoT.



Основой для развития схемы когнитивного управления является концепция виртуального объекта VO (Virtual Object), который является представлением физического объекта или объекта реального мира RWO (Real-World Object).

Виртуальный объект динамически создается или удаляется, создавая тем самым представление динамики изменений RWO. Для описания возможностей автоматической агрегации VO, чтобы обеспечить условия для исполнения приложений в предлагаемой схеме когнитивного управления вводится понятие концепции композитных (сложносоставных) виртуальных объектов CVO (Composite VO) (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Схема когнитивного управления

Рассмотрим применение концепции CIoT на примере оптимизации времени оказания неотложной помощи больному по кон-

кретному адресу. Больной находится под дистанционным контролем системы медицинского мониторинга на базе услуги IoT. Пусть сенсорная система на теле больного («body sensor») зафиксировала резкое и продолжительное изменение параметров состояния человека – резкое учащение дыхания, пульса, сердечную аритмию, признаки обморока.

Показания сенсоров – RWO, приводят к изменению состояния объектов VO, связанных с RWO через шлюз. Специальное приложение для обработки и трансляции показаний сенсоров обрабатывает указанную информацию VO и преобразует её к виду, который может быть использован CVO, в данном случае – медицинским центром с помощью процедуры запроса и совпадения ситуации RSM «Request and Situation Matching». Однако, если в ходе поиска требуемый CVO не найден, или отсутствует свободный медицинский автомобиль (ситуация «все на выезде»), то с помощью процедуры принятия решений задействуется другой подходящий для данного случая VO, например сенсор пожарной сигнализации.

В результате в схеме принимает участие новый CVO – служба спасения – на основе анализа близости ситуации к опасной для здоровья человека. В итоге скорая помощь может быть оказана больному не медицинским центром, а службой спасения, специалисты которой также имеют навыки медицинской помощи.

Таким образом, описанная ситуация наглядно показывает преимущества когнитивности и когнитивного управления применительно к интернету вещей.

## **1.5 Сети Интернета вещей**

В настоящее время узкополосные беспроводные сети связи IoT в полосах радиочастот, используемых в упрощенном порядке используют полосы, выделенные для устройств малого радиуса дей-

ствия (SRD), в первую очередь, для так называемых неспециализированных устройств малого радиуса действия. Условия использования устройств малого радиуса действия в части неспециализированных устройств [1].

Существуют и другие полосы радиочастот для SRD, которые потенциально могут быть использованы для узкополосных беспроводных сетей связи IoT, например, в диапазоне 433 МГц, однако именно диапазон 862-876 МГц является основным [4].

При этом ключевым диапазоном радиочастот для узкополосных беспроводных сетей связи IoT является диапазон радиочастот 868,7-869,2 МГц, где отсутствуют ограничения на рабочий цикл. В полосах 864-865 МГц и 866-868 МГц размещаются дополнительные каналы трафика для разгрузки основных каналов, которые также могут использоваться и для сбора данных от абонентских устройств.

Для узкополосных беспроводных сетей связи IoT в полосах радиочастот, используемых в упрощенном порядке, в России возможно выделить две основные особенности. Первая заключается в существенном отличии российского распределения полос радиочастот для устройств малого радиуса действия от европейского, к которому исторически тяготеет Российская Федерация.

В России не выделены полосы радиочастот, которые в Европе имеют больший рабочий цикл или большую разрешенную мощность. Именно в этих полосах радиочастот развиваются все стандарты узкополосных беспроводных сетей связи IoT в Европе, при этом в России присутствуют стандарты собственной разработки.

Очевидна и вторая особенность использования узкополосных беспроводных сетей связи IoT в полосах радиочастот, используемых в упрощенном порядке, а именно нехватка радиочастотного ресурса для полноценного развития. Первоначальное распределение полос радиочастот в Европе оказалось недостаточным для внедрения узкополосных беспроводных сетей связи IoT в полосах радио-

частот, используемых в упрощенном порядке, что привело в последние годы к постоянному расширению данных полос радиочастот. Причем это расширение происходило как для абонентских устройств с излучаемой мощностью 25 мВт, так и для базовых станций с излучаемой мощностью 500 мВт.

## **1.6 Типовая архитектура сетей связи Интернета вещей**

Для взаимоувязанного развития различных узкополосных беспроводных сетей связи IoT и в целях обеспечения регулирования, целесообразно определить типовую архитектуру таких сетей и выделить ключевые интерфейсы, отвечающие за взаимодействие отдельных уровней модели Интернета вещей. Узкополосные беспроводные сети связи IoT в широком смысле представляют собой полную цепочку всех уровней модели Интернета вещей. Однако, для целей регулирования развития различных узкополосных беспроводных сетей связи IoT нет необходимости воспроизводить все элементы такой модели, достаточно указать ключевые уровни взаимодействия и абстрактные интерфейсы между этими уровнями, к которым могут быть выработаны требования на государственном уровне, обеспечивающие системный подход к развитию услуг IoT. Структура такой модели приведена на рис. 1.5.

На рис. 1.5 показаны ключевые блоки, формирующие всю цепочку IoT-услуг и ключевые интерфейсы, формирование требований к которым необходимо для создания взаимоувязанной инфраструктуры IoT.

Важно отметить, что в предлагаемой типовой архитектуре допускается, что практически все уровни цепочки услуг IoT могут принадлежать различным компаниям и организациям. Более того, может существовать большое количество различных технических реализаций стека протоколов от окончного устройства IoT до

пользователя услуг IoT. Как видно из рис. 1.5, все многообразие различных беспроводных технологий занимает лишь один нижний интерфейс. Более того, это многообразие не ограничено только узкополосными беспроводными сетями связи IoT.

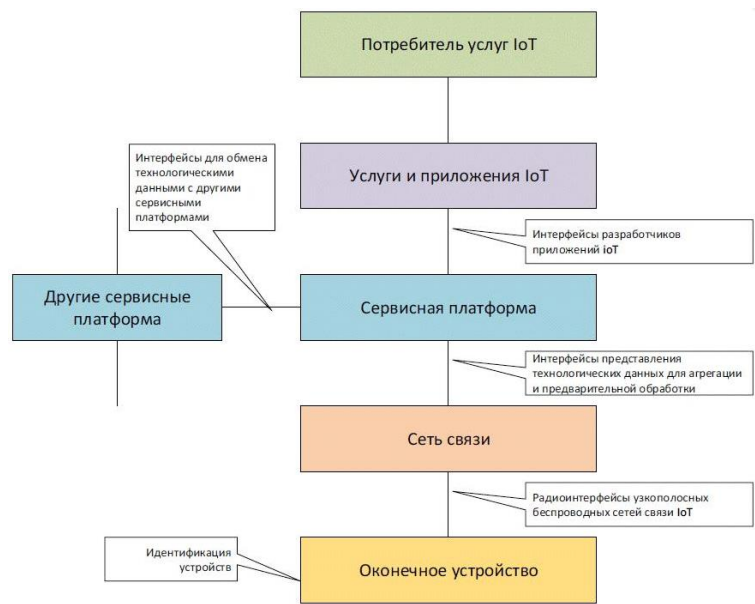


Рис. 1.5. Типовая архитектура сетей связи Интернета вещей

По указанным причинам взаимозависимое развитие различных узкополосных беспроводных сетей связи IoT необходимо регулировать отдельно для каждого уровня в максимально гибкой и технологически нейтральной форме для исключения создания необоснованных барьеров для развития услуг IoT. Тем не менее, регулирование, направленное на развитие узкополосных беспроводных сетей связи IoT, требуется для эффективного использования всей экосистемы IoT, в особенности в следующих сферах [1]:

- информационной безопасности;

- идентификации устройств IoT;
- управляемости устройствами IoT, включая возможности удаленного отключения от сети и запроса данных и вычислительной мощности;
- стандартизации открытых протоколов между уровнями обмена накопленными технологическими данными;
- общего контроля хранения, агрегации и доступа к технологическим данным, накапливаемым в ключевых отраслях экономики;
- подключения технических средств для реализации системы оперативно-розыскных мероприятий;
- возможности обновления программного обновления (прошивки) устройств IoT через радиоэфир.

Приведенные выше направления касаются не только технического, но и административного регулирования процессов, связанных с оборотом технологических данных в общей экосистеме IoT.

В первую очередь государственное регулирование должно быть направлено на обеспечение совместимости различных элементов и подсистем в сфере IoT и обеспечение их информационной безопасности. Не менее важным является сохранение достаточно общего характера регулирования, которое бы способствовало развитию IoT в Российской Федерации и было бы одинаково применимо ко всем участникам рынка IoT.

## **1.7 Идентификация устройств Интернета вещей**

Для обеспечения возможности накопления «больших данных» от разнородных систем сбора информации и создания алгоритмов обработки таких данных с целью выявления действий по оптимизации тех или иных процессов в экономике в целом или конкретном

приложении требуется однозначная идентификация источника информации (например, сенсора) и получаемой информации. При отсутствии идентификации устройств IoT ожидается накопление разрозненной информации в различных сегментах экономики или в разных узкополосных беспроводных сетях связи IoT, которая в последствии не может быть сопоставлена между собой без сложной обработки, требующей раскрытия внутренней идентификации всех задействованных систем.

По этой причине целесообразно введение той или иной системы идентификации устройств IoT на международном и на национальных уровнях. В настоящее время существует большое количество систем идентификации устройств, которые используются для управления устройствами IoT. Причем на разных уровнях типовой архитектуры IoT могут существовать разные подходы к идентификации. Так, например, на сетевом уровне IoT устройствам могут присваиваться IP адреса для маршрутизации данных, но при этом IP адреса могут быть динамическими, что не позволяет использовать их в качестве уникального идентификатора. Помимо этого, во многих узкополосных беспроводных сетях связи IoT адресация по IP может не использоваться в силу ее слабой энергоэффективности. Необходимо отметить, что от уровня к уровню идентификация устройств может подменяться, т.е. окончному IoT устройству с определенным физическим адресом на канальном уровне сначала назначается соответствующий логический адрес на сетевом уровне, который в последствии может быть заменен на идентификатор на уровне платформы. При этом очень важным свойством является фиксированность соотношения идентификатора с фактическим устройством IoT (физическим адресом), а также универсальность в применении идентификатора в различных отраслях.

С учетом рассмотрения узкополосных беспроводных сетей связи IoT можно также рассматривать системы идентификации, которые предлагаются в качестве основы для сетевого уровня, а также

для использования на более высоком уровне. Так, для узкополосных беспроводных сетей связи IoT в полосах радиочастот, используемых в общем порядке, сейчас существует однозначная система идентификации всех абонентов на основе номера MSISDN, описанная в Рекомендации МСЭ-Т F.748.1 «Requirements and common characteristics of the IoT identifier for the IoT service». Данный 15-значный номер в десятичной системе исчисления должен являться уникальным адресом в сетях 3GPP, в том числе и в сетях NB-IoT и LTE-eMTC, который и обеспечивает как идентификацию, так и возможность прямой адресации.

Однако ожидается, что этого объема может быть недостаточно для обслуживания устройств в глобальном масштабе. По этой причине в 3GPP для межмашинных коммуникаций также существует вариант работы устройств без MSISDN на основе назначения внутрисетевых идентификаторов. При этом для глобального доступа к таким устройствам из внешних сетей определен формат нового внешнего идентификатора на основе формата IETF RFC 4282, который позволяет привязывать устройства к доменным именам. Такой тип идентификатора может использоваться в тех устройствах IoT, для которых не будет назначаться номер MSISDN. При этом связь между внешним идентификатором и конкретным устройством внутри сети предполагается осуществлять по номеру IMSI. При этом стоит отметить, что IMSI тоже является 15-значным номером. Вместе с этим, важно отметить что IMSI также подвержена клонированию и подделкам, в связи с чем требуется рассмотреть более универсальный подход для идентификации IoT-устройств.

Вопросы ненадежности кодов IMEI и связанных с ним технологий описаны в Техническом отчете МСЭ-Т «О безопасности и надежности идентификаторов IMEI» TD730-R1 от 15.02.2019 года.

В узкополосных беспроводных сетях связи IoT в полосах радиочастот, используемых в упрощенном порядке, отсутствует унифицированный метод идентификации и адресации.



На данный момент ни одна из систем идентификации не получила статуса эталонной, более того, существует несколько конкурирующих систем идентификации [1].

Важной особенностью при выборе технологии идентификации является обеспечение ее подлинного международного управления и независимости распределения ресурсов идентификации. Данным критериям отвечает технология Digital Object Architecture (DOA), стандартизированная в МСЭ (Рекомендация МСЭ-Т X.1255, разрабатываемая Рекомендация МСЭ-Т Y.4459 «Architecture for IoT interoperability») и управляемая некоммерческой неправительственной организацией DONA Foundation. Глобальная система администрирования DOA предполагает развертывание и функционирование нескольких администраторов, равно представляющих различные регионы мира. Сама DONA Foundation управляется Советом, который состоит из представителей региональных администраторов. Россия является членом Совета. Согласно Концепции архитектуры цифровых объектов предусматривает, что каждый объект – обладает набором признаков, определяющих его сущность и, благодаря этому, выделяющих его из множества других. То есть, фактически, можно задействовать все существующие идентификаторы (физический + логический адрес, а также мета данные о самом объекте, например, версия прошивки, местоположение и др.).

Таким образом, различные признаки суммарно являются идентификаторами. Идентификация необходима для решения таких задач, как [1]:

- однозначное определение объекта;
- распознавание объекта по его свойствам;
- группирование объектов по определенным признакам;
- выделение объекта из множества подобных.

Цифровой объект (согласно концепции международных рекомендаций МСЭ-Т X.1255) – «структура обнаружения информации

по управлению определением идентичности», общепринятая структура данных, состоящая из одного или нескольких элементов, благодаря которой обеспечивается функциональная совместимость информационных систем в интернете.

По факту, цифровой объект – это объект, состоящий из структурированной последовательности битов, имеющий название, уникальный идентификатор и атрибуты, описывающие его свойства. В контексте архитектуры DOA, цифровой объект – данные, которые не зависят от платформы. Для управления цифровыми объектами используются три архитектурных компонента. Каждый из компонентов может использоваться самостоятельно, но в комбинации они обеспечивают распределенную и масштабируемую систему управления информацией в интернете. Три основных компонента [1]:

- 1) масштабируемая и распределенная система идентификаторов и резолюции цифровых объектов;
- 2) репозитории доступа и управления цифровыми объектами;
- 3) реестры для поиска и обнаружения объектов.

Цифровые объекты – ключевой элемент, вокруг которого выстроены другие компоненты и сервисы. Цифровые объекты не заменяют существующие форматы и структуры данных, но обеспечивают общепринятые способы представления этих форматов и структур. Это позволяет их однозначно интерпретировать и перемещать между различными гетерогенными информационными системами в ходе изменений в системах с течением времени. На уровне управления распределенная архитектура технологии позволяет создавать сервисы и регламентировать процессы на уровне отдельно взятого МРА, то есть каждый из текущих девяти МРА может разрабатывать собственную бизнес-модель, обеспечивая полностью независимую систему эмиссии идентификаторов и управления системой на национальном или региональном уровне.

## 1.8 Зрелость концепции IoT и составляющих ее технологий

Известная компания Gartner с 1995 года регулярно составляет графики цикла зрелости технологий, где отмечает технологии, которые нашли свою нишу и продолжили уверенное развитие, к которым проявляется избыточное внимание и которые находятся в самом начале своего зарождения [1] (рис. 1.6).

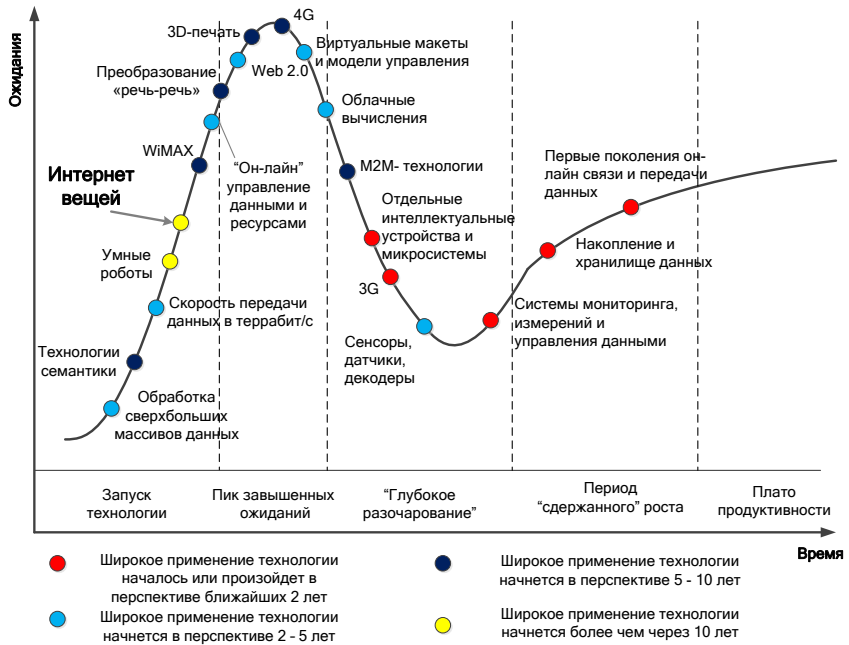


Рис. 1.6. Цикл зрелости технологий IoT

Преимущества Интернета вещей очевидны и это дает основание утверждать, он станет повсеместно распространен [1]. А это случится, если Интернет вещей продемонстрирует на практике новые, более широкие возможности коммуникаций любых вещей в различных областях человеческой деятельности.

## Контрольные вопросы по главе 1

1. Что такое Интернет вещей?
2. Что такое сенсорная сеть?
3. Что такое самоорганизующаяся сеть связи?
4. Что такое беспроводная сенсорная сеть?
5. Какие интерфейсы входят в состав архитектуры беспроводных сенсорных сетей?
6. Перечислите примеры практического применения беспроводных сенсорных сетей.
7. Что такое интернет нано-вещей?
8. Что является основными компонентами архитектуры сети Интернета нано-вещей?
9. Назовите основные коммуникационные проблемы практической реализации нано-сетей.
10. Что такое когнитивный интернет вещей?
11. Что означает когнитивность?
12. Перечислите функции когнитивных интернет-вещей.
13. Из каких компонентов состоит сеть на теле человека?
14. Перечислите функции нано-сенсоров и нано-актуаторов.
15. Приведите примеры практического применения когнитивного Интернета вещей и сетей на теле человека.
16. Приведите примеры практического применения интернета нано-вещей.

## 2 СТАНДАРТИЗАЦИЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

### 2.1 Эталонная модель IoT

В рамках МСЭ с 2006 г. действует Глобальная инициатива по стандартизации интернета вещей, которая содействует унифицированному подходу к разработке технических стандартов в этой области. В рамках серии Рекомендаций Y.2xxx, относящейся к сетям следующего поколения NGN, уже утверждены рекомендации, посвященные специально интернету вещей [1]:

а) ITU-T Y.2060, Overview of the Internet of Things («Обзор интернета вещей»);

б) ITU-T Y.2063, Framework of Web of Things («Основа Web-сети вещей»); ITU-T Y.2069, Terms and definitions of the Internet of Things («Термины и определения интернета вещей»).

В последние годы принят также ряд рекомендаций МСЭ-T в смежных областях, которые применимы к интернету вещей (Y.2061, Y.2062, серия H.642.x, F.747.1 и др.) [3].

На рис. 2.1 изображена эталонная модель IoT согласно МСЭ-T Y.2060.

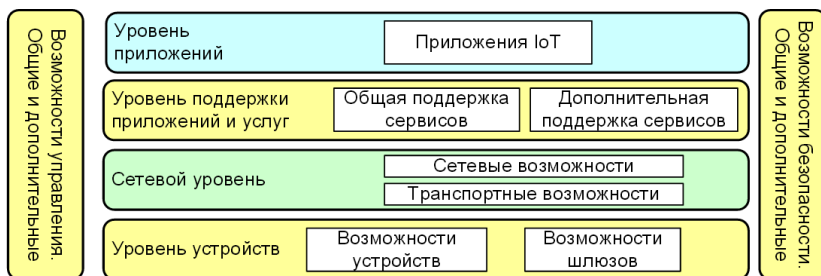


Рис. 2.1. Эталонная модель IoT согласно МСЭ-T Y.2060

Уровень приложений IoT в Рекомендации Y.2060 детально не рассматривается. Уровень поддержки приложений и услуг включает общие возможности для различных объектов IoT по обработке и хранению данных, а также возможности, необходимые для некоторых приложений IoT или групп таких приложений. Сетевой уровень включает сетевые возможности (функция управления ресурсами сети доступа и транспортной сети, управления мобильностью, функции авторизации, аутентификации и расчетов) и транспортные возможности (обеспечение связности сети для передачи информации приложений и услуг IoT). Наконец, уровень устройств включает возможности устройства и возможности шлюза. Возможности устройства предполагают прямой обмен с сетью связи, обмен через шлюз, обмен через беспроводную динамическую ad-hoc сеть, а также временный останов и возобновление работы устройства для энергосбережения. Возможности шлюза предполагают поддержку множества интерфейсов для устройств (шина CAN, ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi и др.) и для сетей доступа/транспортных сетей (2G/3G, LTE, DSL и др.). Другой возможностью шлюза является поддержка конверсии протоколов, в случае, если протоколы интерфейсов устройств и сетей отличаются друг от друга.

Возможности вертикального уровня эксплуатационного управления предусматривают управление последствиями отказов, возможностями сети, конфигурацией, безопасностью и данными для биллинга. Основными объектами управления являются устройства, локальные сети и их топология, трафик и перегрузки на сетях. Возможности вертикального уровня безопасности зависят от горизонтального уровня. Для уровня поддержки приложений и услуг определены функции такие, как антивирусная защита, тесты целостности данных. Для сетевого уровня – возможности авторизации, аутентификации, защиты информации протоколов сигнализации. На уровне устройств – возможности авторизации, аутентификации, контроль доступа и конфиденциальность данных [1].

На рис. 2.2 приведено сравнение моделей передачи данных в Интернете и в IoT.

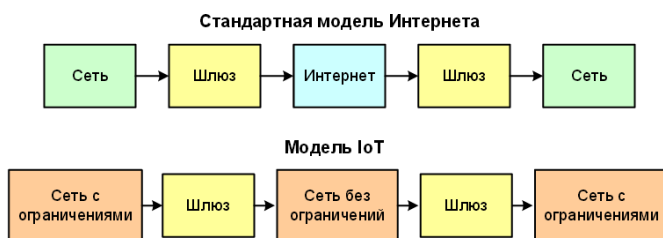


Рис. 2.2. Сравнение моделей передачи данных в Интернете и в IoT

Следует отметить, что Интернет вещей не исключает участие человека. IoT не полностью автоматизирует вещи, так как он ориентирован на человека и предоставляет ему возможность доступа к вещам. В IoT каждая вещь имеет свой уникальный идентификатор, которые совместно образуют континуум вещей, способных взаимодействовать друг с другом, создавая временные или постоянные сети. Так вещи могут принимать участие в процессе их перемещения, делясь сведениями о текущей геопозиции, что позволяет полностью автоматизировать процесс логистики, а имея встроенный интеллект, вещи могут менять свои свойства и адаптироваться к окружающей среде, в том числе для уменьшения энергопотребления. Они могут обнаруживать другие, так или иначе связанные с ними вещи, и налаживать с ними взаимодействие. IoT позволяет создавать комбинацию из интеллектуальных устройств, объединенных сетями связи, и людей. Совместно они могут создавать самые разнообразные системы, например, для работы в средах, неудобных или недоступных для человека (в космосе, на большой глубине, на ядерных установках, в трубопроводах и т.п.).

Интернет вещей основывается на 3-х базовых принципах:

- повсеместно распространенная коммуникационная инфраструктура;

- глобальная идентификация каждого объекта;
- возможность каждого объекта отправлять и получать данные по персональной сети или Интернету, к которым он подключен.

Выделяют четыре уровня в новой сети:

1. Уровень связан с идентификацией каждого объекта.
2. Уровень предоставляет услуги по обслуживанию потребностей потребителя (можно рассматривать как сеть собственно «вещей», частный пример – «умный дом»).
3. Уровень связан с урбанизацией городской жизни, т.е. это концепция «умного города», где вся информация, которая касается жителей этого города, стягивается в конкретный жилой квартал, в конкретный дом и соседние дома.
4. Уровень – сенсорная планета.

Иными словами, Интернет вещей можно рассматривать как сеть сетей, в которой небольшие малосвязанные сети образуют более крупные.

Наиболее важными отличиями Интернета вещей от существующего интернета людей являются:

- 1) фокус на вещах, а не на человеке;
- 2) существенно большее число подключенных объектов;
- 3) существенно меньшие размеры объектов и невысокие скорости передачи данных;
- 4) фокус на считывании, а не на коммуникациях;
- 5) необходимость создания новой инфраструктуры и альтернативных стандартов.

## 2.2 Архитектура IoT

Архитектура IoT включает четыре основных уровня [1].

1. Уровень сенсоров и сенсорных сетей.

Самый нижний уровень архитектуры IoT состоит из «умных» объектов, интегрированных с сенсорами (датчиками). Сенсоры ре-



ализуют соединение физического и виртуального (цифрового) миров, обеспечивая сбор и обработку информации в реальном масштабе времени. Миниатюризация, приведшая к сокращению физических размеров аппаратных сенсоров, позволила интегрировать их непосредственно в объекты физического мира. Существуют различные типы сенсоров для соответствующих целей, например, для измерения температуры, давления, скорости движения, местоположения и др. Сенсоры могут иметь небольшую память, давая возможность записывать некоторое количество результатов измерений. Сенсор может измерять физические параметры контролируемого объекта/явления и преобразовать их в сигнал, который может быть принят соответствующим устройством. Сенсоры классифицируются в соответствии с их назначением, например, сенсоры окружающей среды, сенсоры для тела, сенсоры для бытовой техники, сенсоры для транспортных средств и т.д.

## 2. Уровень шлюзов и сетей.

Большой объем данных, создаваемых на первом уровне IoT многочисленными миниатюрными сенсорами, требует надежной и высокопроизводительной проводной или беспроводной сетевой инфраструктуры в качестве транспортной среды. Существующие сети связи, использующие различные протоколы, могут быть использованы для поддержки межмашинных коммуникаций M2M (Machine-to-Machine) и их приложений. Для реализации широкого спектра услуг и приложений в IoT необходимо обеспечить совместную работу множества сетей различных технологий и протоколов доступа в гетерогенной конфигурации. Эти сети должны обеспечивать требуемые значения качества передачи информации, и прежде всего по задержке, пропускной способности и безопасности. Данный уровень состоит из конвергентной сетевой инфраструктуры, которая создается путем интеграции разнородных сетей в единую сетевую платформу. Конвергентный абстрактный сетевой уровень в IoT позволяет через соответствующие шлюзы нескольким пользователям

использовать ресурсы в одной сети независимо и совместно без ущерба для конфиденциальности, безопасности и производительности.

### 3. Сервисный уровень.

Сервисный уровень содержит набор информационных услуг, призванных автоматизировать технологические и бизнес операции в IoT: поддержки операционной и бизнес деятельности, различной аналитической обработки информации (статистической, интеллектуального анализа данных и текстов, прогностическая аналитика и др.), хранения данных, обеспечения информационной безопасности, управления бизнес-правилами, бизнес-процессами и др.

### 4. Уровень приложений.

На четвертом уровне архитектуры IoT существуют различные типы приложений для соответствующих промышленных секторов и сфер деятельности (энергетика, транспорт, торговля, медицина, образование и др.).

На основе Интернета вещей могут быть реализованы всевозможные «умные» приложения в различных сферах деятельности и жизни человека:

1. «Умная планета» – человек сможет буквально «держать руку на пульсе» планеты: своевременно реагировать на упущения в планировании хозяйств, загрязнения и другие экологические проблемы, а значит, эффективно распорядиться не возобновляемыми ресурсами.

2. «Умный город» – городская инфраструктура и сопутствующие муниципальные услуги, такие как образование, здравоохранение, общественная безопасность, ЖКХ, станут более связанными и эффективными.

3. «Умный дом» – система будет распознавать конкретные ситуации, происходящие в доме, и реагировать на них соответствующим образом, что обеспечит жильцам безопасность, комфорт и ресурсосбережение.

4. «Умная энергетика» – будет обеспечена надежная и качественная передача электрической энергии от источника к приемнику в нужное время и в необходимом количестве.

5. «Умный транспорт» – перемещение пассажиров из одной точки пространства в другую станет быстрее и безопаснее.

6. «Умная медицина» – врачи и пациенты смогут получить удаленный доступ к дорогостоящему медицинскому оборудованию или к электронной истории болезни в любом месте, будет реализована система удаленного мониторинга здоровья, автоматизирована выдача лекарственных препаратов и многое другое.

Архитектура IoT показана на рис. 2.3.

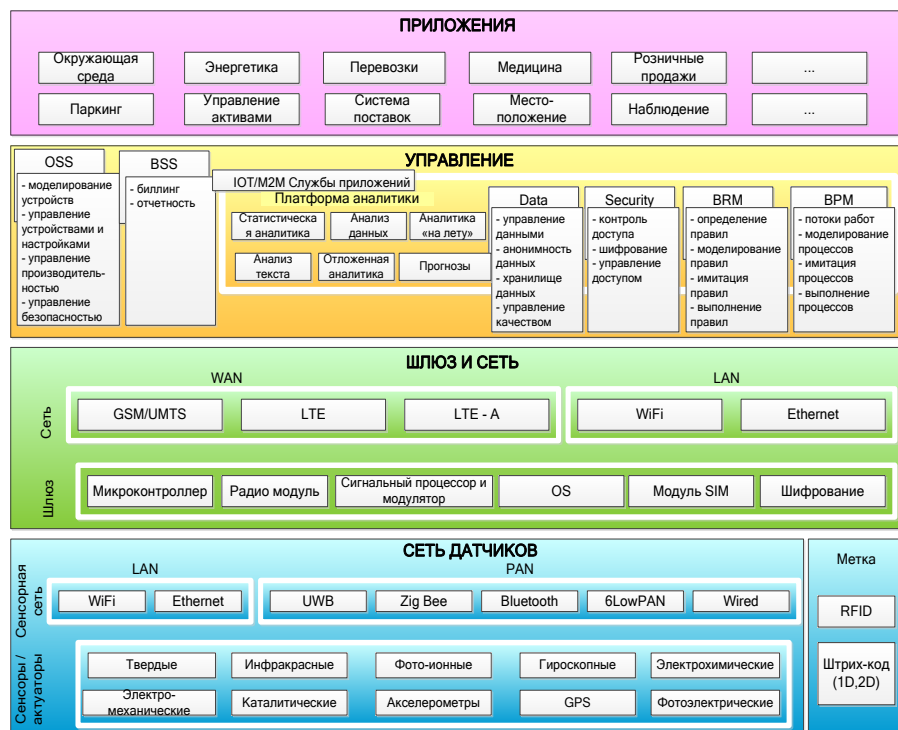


Рис. 2.3. Архитектура IoT

## Контрольные вопросы по главе 2

1. Что такое Интернет вещей?
2. На каких принципах основывается Интернет вещей?
3. Перечислите уровни эталонной модели IoT.
4. Перечислите функции уровней эталонной модели IoT.
5. Какие уровни включает в себя архитектура Интернета вещей?
6. Перечислите функции уровней архитектуры Интернета вещей.
7. Перечислите примеры практического применения Интернета вещей.

## **3 ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ**

### **3.1 «Умная планета»**

Планируется разработать онлайн-платформу для сбора и анализа данных об экологической ситуации, поступающих от космических, воздушных, морских и наземных датчиков, разбросанных по всей нашей планете. Эти данные станут достоянием широкой общественности, правительств и коммерческих организаций. Они позволят в режиме, близком к реальному времени, измерять, докладывать и проверять экологические данные, своевременно распознавать глобальные климатические изменения и адаптироваться к ним. Разработка платформы началась с серии пилотных проектов, включая проект Rainforest Skin, в ходе которого будет исследован процесс уничтожения тропических лесов в мировом масштабе.

В рамках программы Planetary Skin разрабатываются системы поддержки принятия решений, позволяющие эффективно управлять такими природными ресурсами, как биомасса, вода, земля и энергия, климатическими изменениями и связанными с ними рисками (такими как подъем уровня мирового океана, засухи и эпидемии), а также развитием новых экологических рынков, образуемых вокруг углеводов, воды и биологического разнообразия.

Концепцию «разумной планеты» Smart Planet пропагандирует компания IBM. Суть ее заключалась в том, что благодаря технологиям IoT можно сделать планету разумнее. Сегодня влияние этой идеи уже заметно ощущается по всему миру в различных секторах и отраслях, а также в нашей повседневной жизни. Компании, работающие в сфере энергетики и энергоснабжения, находят лучшие,

более эффективные способы выработки и распределения электроэнергии. Города внедряют решения для управления дорожным движением, помогающие обществу экономить время и деньги и при этом повысить качество жизни. Компании, производящие потребительские товары, используют интеллектуальные технологии для создания и поставки более качественных продуктов в более короткие сроки и по более низкой цене. Системы здравоохранения используют информацию для уменьшения числа ошибок, сокращения затрат и обеспечения более индивидуализированного обслуживания.

Технологии IoT на базе сенсорных сетей широко используются в экологии, например, отслеживание движения птиц, мелких животных и насекомых, мониторинг состояния окружающей среды с целью выявления ее влияния на сельскохозяйственные культуры и скот, обнаружение лесных пожаров, наводнений, загрязнений и др.

Начинать строить «умную планету» нужно с построения «умных зданий», объединяя их затем в «умные города», и продолжать этот процесс до тех пор, пока «цифровой интеллектуальностью» не будет наделена вся планета [6].

### **3.2 «Умный город»**

В последние годы в городах интенсивно создаются информационные системы для автоматизации отдельных сфер городской жизни: безопасности городской среды, транспорта, энергетики и ЖКХ, здравоохранения, образования, государственного и муниципального управления и др.

Принципы и технологии IoT позволяют создать полносвязное интегрированное решение, необходимое для функционирования городской среды (рис. 3.1) и доступное всем жителям города, сотрудникам городских служб, чиновникам и управленцам разных уровней [4].



Рис. 3.1. Основные подсистемы «умного города»

Следует признать, что Интернет вещей пока еще не проник глубоко в элементы городской инфраструктуры и хозяйства, но уже сформировал сферу влияния, в рамках которой играет практически революционную роль. Это в первую очередь транспорт, энергетика и коммунальные услуги, экология, контроль преступности, информационное обеспечение жителей города и интерактивное управление домохозяйством.

Другой интересный пример – умные мусорные контейнеры [5]. Сигнал о наполнении подается в централизованную систему управления, которая отслеживает на карте все мусороборочные машины и включает наполненный контейнер в маршрут ближайшего грузовика. И это тоже уже не фантастика: именно так работает мусоросборочная система в Дублине и Барселоне.

Идея использовать в Интернете вещей такую простую, получившую повсеместное распространение технологию, как сотовая связь, находит все большее применение во всем мире. В будущем смартфоны горожан сформируют постоянно расширяющуюся сеть

муниципальных датчиков. Сейчас ученые экспериментируют со встраиванием датчиков в сотовые телефоны для решения социальных проблем (например, сбора данных по загрязнению воздуха или уровню радиации) так, чтобы свести к минимуму или даже нулю необходимость в помощи со стороны горожан.

### 3.3 «Умный дом»

«Умный дом» предназначен для максимально комфортной жизни людей посредством использования современных высокотехнологических средств.

Принцип работы системы «умный дом» заключается в автоматизации всего, из чего состоит жилая постройка: освещение, кондиционирование, система безопасности, электроэнергия, отопление, водоснабжение и водоотведение и так далее [1, 7]. К основным подсистемам «умного дома» относятся: климат-контроль, освещение, мультимедиа (аудио и видео), охранные системы, связь и другие (рис. 3.2).

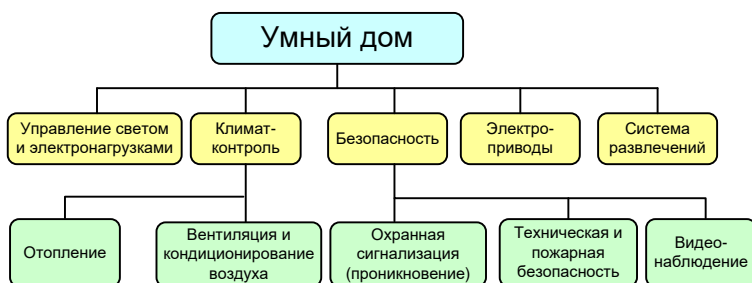


Рис. 3.2. Основные подсистемы «умного дома»

В стандартном проекте «умного дома» можно выделить три основных подсети: сеть мультимедийных устройств, сеть электроосветительного оборудования и сенсорную сеть. В последнем слу-



чае это датчики движения, света, температуры, давления, влажности, вибрации и т.п. Таким образом, «умный дом» состоит из программного и аппаратного обеспечения, датчиков и проводной/беспроводной сети (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Основные компоненты «умного дома»

В общем случае, «умный дом» предоставляет его владельцу следующие преимущества [1, 8]:

- 1) снижение потребления ресурсов (газ, вода, электроэнергия);
- 2) высокий уровень комфорта;
- 3) обеспечение необходимого взаимодействия всех автоматизируемых систем объекта недвижимости, задание различных режимов работы;
- 4) снижение вероятности возникновения аварийных ситуаций;
- 5) повышение оперативности, простоты и удобства управления.

Для автоматизации дома смарт-узлы могут быть интегрированы непосредственно в бытовые приборы, например в пылесосы,

микроволновые печи, холодильники и телевизоры. Они могут взаимодействовать друг с другом и с внешней сетью через интернет. Это позволит конечным пользователям легко управлять устройствами дома как локально, так и удаленно.

Большинство бытовых устройств из категории «умных» вещей можно поделить на две группы по типу использования интернета.

К первой группе относится техника, которая через WWW обновляет свое программное обеспечение, получает новые функции, принимает управляющие сигналы от находящегося вдали хозяина, и, соответственно, отправляет ему информацию, подтверждающую выполненные действия и свое состояние. Этот тип использования интернета бытовой техникой является наиболее разумным и способен доказать потенциальному потребителю свою полезность.

Во вторую группу входит техника, в которой интернет является как бы инородным телом. Суть решения в том, что в совершенно привычный бытовой прибор, типа микроволновки или холодильника, встраивается упрощенный компьютер и дисплей, после чего с их помощью можно получать мультимедийные развлечения там, где их раньше не было, например, на той же кухне [8]. Одним из самых первых примеров бытовой техники, имеющей подключение к Интернету, является обычный тостер, оснащенный интерфейсом для удаленного включения и сообщения о готовности поджаренного тоста.

Интернет-холодильник (Internet refrigerator или Smart refrigerator) – новый класс бытовых холодильников, появившийся в начале XXI века. Как правило, он имеет встроенный компьютер с постоянным подключением к сети интернет и сенсорный экран на фронтальной панели. Такой холодильник не только хранит продукты, но и даёт возможность пользоваться интернетом, через который можно получить доступ к различным сайтам (например, с кулинарными рецептами для приготовления блюд) и даже заказывать продукты в интернет-магазинах с доставкой на дом.

Кроме того, с помощью интернет-холодильника можно общаться, используя электронную и видеопочту. Интернет-холодильник может предоставлять целый ряд сервисов: доступ в Интернет, видеотелефон, e-mail, TV, MP3-музыку, базу данных по кулинарным рецептам и правилам питания, электронное перо, чтобы оставить сообщение, голосовые послания.

Ряд моделей интернет-холодильников оборудованы телевизионным и радиоприёмником. Кроме того, при использовании интернет-холодильника появляется возможность вывести на экран картинку от веб-камеры внешнего видеонаблюдения. Это позволяет видеть происходящее во дворе частного дома, даже не покидая кухни, присматривать за своим малышом, находящимся в детской комнате и т.д.

Некоторые устройства данного типа также могут следить за содержанием холодильника, выбирая оптимальные условия хранения и заморозки продуктов. Кроме этого, интернет-холодильник отслеживает продукты с истекающим сроком годности. Информация обо всем этом поступает на смартфон пользователя и последний, находясь в магазине, может оценить реальные потребности в продуктах. Интернет-холодильник изображен на рис. 3.4.



Рис. 3.4. Интернет-холодильник

Робот-пылесос может действовать автономно, программироваться и управляться через Интернет, для чего есть ряд сенсоров и инфракрасная встроенная камера (рис. 3.5).



Рис. 3.5. Робот-пылесос VC-RL87W компании Samsung

Система управления работой пылесоса делает несколько снимков в секунду создавая, таким образом, карту всего дома или отдельных его комнат. Устройство также имеет возможность запоминать оптимальный путь уборки и определять своё местонахождение в доме. Аккумулятора хватает на определенное время уборки (обычно до 1,5 часов), по истечении которого робот сам отправляется на подзарядку. К пылесосу имеется беспроводный доступ Wi-Fi с помощью компьютера или смартфона. Через эти устройства можно запустить его и в режиме реального времени наблюдать за тем, что происходит в комнате. Более того, можно поговорить с людьми, которые находятся в доме через систему голосовой связи. Встроенный источник света позволяет видеть в полной темноте и проверить помещение даже ночью [1, 9].

Интернет микроволновая печь имеет встроенный модем для выхода в интернет, память для хранения скачиваемой информации и пульт управления (рис. 3.6). Она выполняет следующие задачи:

- скачивание рецептов из интернета и самопрограммирование;
- связь с компаниями – производителями продуктов;
- дает доступ к системе заказа продуктов по интернету.



Рис. 3.6. Микроволновая интернет-печь M-G270IT  
компании LG Electronics

Интернет-кондиционер подключается к интернету по проводной или беспроводной сети WiFi и дает пользователю доступ к управлению кондиционером из любой точки земного шара. Владелец может дистанционно включать и выключать систему, программировать настройки, выбирать режимы, температуру, скорость вентилятора, задавать параметры, словом совершать любые манипуляции, доступные с обычного пульта. Управлять таким кондиционером можно с любого устройства (компьютер, ноутбук, планшет, смартфон), в котором установлена специальная программа и который имеет выход в интернет [1, 5].

Также существует система по уходу за домашними животными, которая призвана обеспечить им все необходимые комфортные условия существования. Такая система используется в случае длительного отсутствия хозяев дома – это позволяет не беспокоиться о благополучии своих домашних любимцев [6]. Основными задачами системы по уходу за домашними животными являются автоматическая подача еды и питья, а в случае возникновения непредвиденных обстоятельств – информирование хозяев о них (по телефону, с помощью SMS или по электронной почте).

По желанию можно составить полный отчет о поведении домашних любимцев во время отсутствия хозяев – сколько раз и когда ели, когда ходили в туалет, пили воду и т.д. Можно даже сопроводить этот отчет фотографиями (если установлена камера слежения)

и передавать их (по электронной почте, с помощью MMS) – словом, все, чтобы хозяева чувствовали себя комфортно и были уверены в том, что их любимцам ничего не угрожает.

### 3.4 «Умная энергия»

В настоящее время наиболее проработанным вариантом применения технологий IoT являются «умные сети» (Smart Grids) в энергетике. Работа такой сети основана на том, что поставщик и потребитель получают объективную картину по использованию энергоресурсов за счет мониторинга на всех участках сети и, как следствие, получают возможность оперативного управления. В случае аварий такие сети способны автоматически идентифицировать проблемные участки и в течение короткого времени направлять электроэнергию по резервным схемам, восстанавливая электроснабжение. Для потребителей «умные» сети означают возможности по гибкому регулированию потребления электроэнергии, как в «ручном», так и в автоматическом режиме [1, 5].

Схема «умной» сети Smart Grid показана на рис. 3.7.

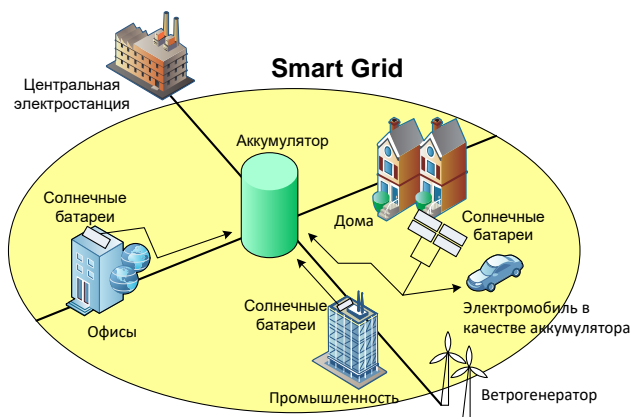


Рис. 3.7. Схема «умной» сети Smart Grid

Управление энергосетью производится с помощью следующих систем:

- «умной» маршрутизации энергопотоков (Smart Routing) – системы контроля нагрузки и качества, самовосстановления сетей в результате аварийных событий, хранения энергии и др.;

- «умных» измерений (Smart Metering) – современные интеллектуальные приборы учета (Smart Meter), системы интеллектуального здания (Smart Home), «умные» бытовые приборы.

«Умный» (или интеллектуальный) счетчик (Smart Meter) – прибор учета энергоресурсов с расширенными возможностями, который позволяет контролировать величину потребленных энергоресурсов и периодически передавать информацию через телекоммуникационную сеть поставщику энергоресурсов или в центр учета и расчетов за жилищные и коммунальные услуги. «Умные» счетчики могут измерять расход электроэнергии, газа, воды, тепла, а также обладать дополнительными возможностями, которые рассматриваются ниже [6].

### **3.5 «Умный транспорт»**

Интеллектуальные транспортные системы ITS (Intelligent Transportation System) на базе технологий IoT позволяют осуществлять автоматическое взаимодействие между объектами инфраструктуры и транспортным средством V2I (Vehicle to Infrastructure) или между различными транспортными средствами V2V (Vehicle to Vehicle) [1]. Технологии обеих групп способны увеличить безопасность и эффективность транспорта (рис. 3.8).

Системы V2V осуществляют обмен данными по беспроводной связи между машинами на расстоянии до нескольких сот метров. Системы V2I осуществляют обмен между транспортным средством и центрами управления дорожным движением, операторами дорог

и сервисными компаниями. Данные, переданные объектами инфраструктуры, интегрируются в общую систему и передаются близлежащим транспортным средствам.

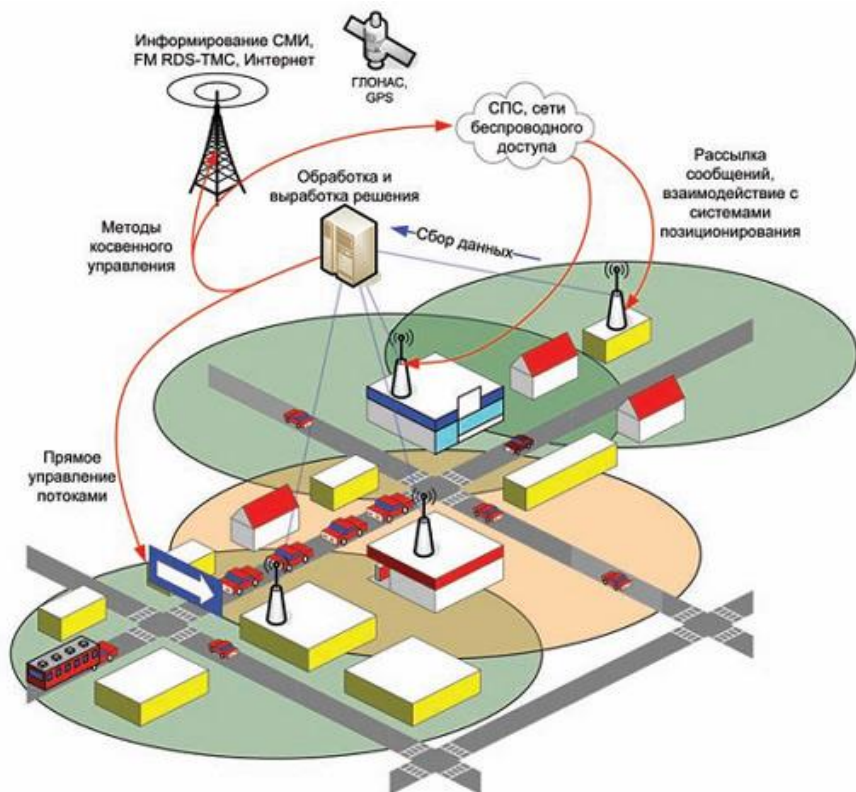


Рис. 3.8. Система интеллектуального управления транспортом

В качестве примера использования технологий IoT в городах можно привести систему управления автомобильным трафиком, которая на основе анализа пропускной способности дорог не только самостоятельно управляет трафиком с помощью перенастройки светофоров, но и постоянно в реальном времени публикует данные



о своём состоянии, которые могут быть доступны любым другим устройствам и сервисам, будь-то ГЛОНАСС/GPS-навигатор, мобильный телефон или специализированные веб-сайты. Использование технологии IoT в транспортной сфере позволяет не только отслеживать оповещения о критических ситуациях, но также перенаправлять маршруты движения в режиме реального времени и даже предупреждать пассажиров и водителей об альтернативных маршрутах, транспортных средствах, придорожном жилье и пунктах общественного питания. Кроме того, с помощью установленных на улицах датчиков можно будет обеспечить публикацию информации об их загруженности.

### 3.6 «Умная жизнь»

Уже трудно кого-то удивить доставкой продуктов на дом, но компания Electrolux решила сделать шаг еще дальше, представив свою новую разработку – робота АММІ (рис. 3.9), ходящего за покупками вместо своего владельца [1].



Рис. 3.9. Робот АММІ компании Electrolux

АММІ – это, по сути, корзина для покупок, которая доставит продукты на дом, при этом сохраняя их свежесть с помощью термоэлектрического охлаждения. Хозяину робота нужно только сделать

онлайн заказ в магазине и потом отправить робота, чтобы он его забрал. АММИ оснастили GPS-навигатором, для того, чтобы он мог легко найти дорогу до супермаркета, а также гироскопом для безопасного перемещения по улицам города и системой беспилотного движения.

Компьютеризированная обувь Verb for Shoe («Команда для обуви») компании VectraSense (рис. 3.10) имеет встроенный специализированный микрокомпьютер ThinkShoe (с ультранизким расходом энергии), работающий под управлением специальной операционной системы Magellan и способный постепенно обучаться индивидуальному стилю ходьбы хозяина обуви.

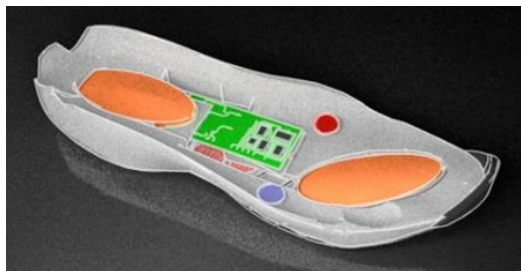


Рис. 3.10. Компьютер, две воздушные камеры, сенсоры и радиопередатчик – начинка обуви Verb

ThinkShoe по беспроводной связи может соединяться с карманным (мобильным) компьютером владельца. Скорость обмена данными составляет 1,5 Мбит/с, используемая радиочастота – 2,4 ГГц. Ботинки Verb могут выходить в Интернет и связываться с сервером компании-производителя для точной идентификации неисправностей и обновления собственного программного обеспечения. При встрече на улице разные туфли Verb узнают друг друга и тут же обмениваются по радио визитками хозяев – эту информацию можно посмотреть на домашнем компьютере. Работают ботинки от пары плоских батареек, которых хватает примерно на два месяца.

### 3.7 Умная носимая электроника

В век надеваемой электроники даже собачий ошейник – это куда больше, чем просто полоска кожи с застежкой и креплением для поводка. Во-первых, GPS-датчик и функция геофенсинга позволяют хозяину задать территорию, при выходе животного за пределы которой на смартфон хозяина будет приходить уведомление или SMS. Для этого ошейник потребует установки SIM-карты. Разумеется, GPS поможет и отыскать потерявшегося любимца с помощью специальных приложений для iOS и Android. Ошейник Buddy также является собачьим фитнес-трекером, позволяя узнать, достаточно ли животное двигается в течение дня, или ему пора устроить пробежку за велосипедом. Отслеживать можно не только перемещение и потраченные во время него калории, но и продолжительность сна. Кстати, о калориях – смартфонное приложение, работающее в связке с «умным» ошейником, умеет распознавать штрих-коды на упаковках всех популярных марок собачьего корма и благодаря этому вводить точную информацию о потреблении питомцем калорий. Также программа позволяет устанавливать напоминания о регулярных процедурах – например, ежегодном осмотре у ветеринара или обработке шерсти от блох [7].

Встроенный в ошейник датчик измеряет температуру тела животного, благодаря чему датчик предупредит хозяина, когда собака замерзла или, наоборот, страдает от жары. Возможна даже синхронизация с термостатами Nest – пока хозяин в офисе, гаджет автоматически установит в доме температуру, комфортную для собаки. «Дружит» он и с другими системами «умного дома», включая замки и освещение.

Можно сделать цветную светодиодную подсветку на краю ошейника. У нее есть вполне конкретный практический смысл – делать собаку заметнее в темноте или в сумерках, как для хозяина, так и для представляющих потенциальную опасность велосипедистов

или водителей. Яркость светодиодов настраивает сенсор освещенности, а цвет и мигание светодиодов можно задать из приложения. Одного заряда батареи ошейнику должно хватать на 7–14 дней, в зависимости от использования (рис. 3.11).



Рис. 3.11. Умная носимая электроника

### **3.8 Индустриальный (промышленный) Интернет вещей ПоТ**

Индустриальный (Промышленный) Интернет Вещей (Industrial Internet of Things, ПоТ) – интернет вещей для корпоративного / отраслевого применения – система объединенных компьютерных сетей и подключенных промышленных (производственных) объектов со встроенными датчиками и ПО для сбора и обмена данными, с возможностью удаленного контроля и управления в автоматизированном режиме, без участия человека [9].

Принцип работы технологии заключается в следующем: первоначально устанавливаются датчики, исполнительные механизмы, контроллеры и человеко-машинные интерфейсы на ключевые части оборудования, после чего осуществляется сбор информации, которая впоследствии позволяет компании приобрести объективные и точные данные о состоянии предприятия. Обработанные данные доставляются во все отделы предприятия, что помогает наладить

взаимодействие между сотрудниками разных подразделений и принимать обоснованные решения.

Полученная информация может быть использована для предотвращения внеплановых простоев, поломок оборудования, сокращения внепланового техобслуживания и сбоев в управлении цепочками поставок, тем самым позволяя предприятию функционировать более эффективно.

При обработке огромного массива неструктурированных данных их фильтрация и адекватная интерпретация является приоритетной задачей для предприятий. В данном контексте особую значимость приобретает корректное представление информации в понятном пользователю виде, для чего сегодня на рынке представлены передовые аналитические платформы, предназначенные для сбора, хранения и анализа данных о технологических процессах и событиях в реальном времени.

Во избежание простоев и для сохранения безопасности на предприятии необходимо внедрение технологий, позволяющих обнаруживать и прогнозировать риски. Непрерывный проактивный мониторинг ключевых показателей дает возможность определить проблему и принять необходимые меры для ее решения. Для удобства операторов современные системы позволяют визуализировать условия протекания технологических процессов и выявлять факторы, оказывающие на них влияние, посредством любого веб-браузера. Оперативный анализ помогает пользователям быстрее находить причины неполадок.

Благодаря таким решениям производственные данные превращаются в полезную информацию, которая необходима для безопасного и рационального управления предприятием.

Внедрение таких технологий дает возможность предприятиям из разных отраслей экономики получить определенные преимущества: увеличить эффективность использования производственных активов на 10% за счет сокращения количества незапланированных простоев; снизить затраты на техническое обслуживание на 10%,

усовершенствовав процедуры прогнозирования и предотвращения катастрофических отказов оборудования и выявляя неэффективные операции; повысить производительность на 10%, увеличить уровень энергоэффективности и сократить эксплуатационные расходы на 10% за счет более эффективного использования энергии.

Таким образом, новые технологии позволяют предприятиям разных отраслей промышленности добиться существенных конкурентных преимуществ.

В наиболее продвинутых случаях индустриальный Интернет вещей позволяет не только повысить качество технической поддержки оборудования с использованием развитых средств телеметрии, но и обеспечить переход к новой бизнес-модели его эксплуатации, когда оборудование оплачивается заказчиком по факту использования его функций.

Внедрение сетевого взаимодействия между машинами, оборудованием, зданиями и информационными системами, возможность осуществлять мониторинг и анализ окружающей среды, процесса производства и собственного состояния в режиме реального времени, передавая функции управления и принятия решений интеллектуальным системам приводят к смене «парадигмы» технологического развития, называемой также «четвертой промышленной революцией».

Зарубежные эксперты признают интернет вещей технологией, которая вносит необратимую трансформацию в организацию современных производственных и бизнес-процессов и порождает новые бизнес-модели.

### **3.9 Социальный Интернет вещей**

Стремительное развитие электроники и унификация программных решений привели к появлению умных устройств (Smart Devices), которые стали неотъемлемой частью нашей жизни. Если говорить об Интернете вещей (IoT), то это пока концепция. Она предполагает

наличие множества окружающих нас предметов, которые получают доступ в Интернет и будут взаимодействовать между собой.

Именно взаимодействие, по концепции Интернета вещей, является отличительным фактором по сравнению с существующими решениями умной электроники (Smart Electronics), например, достаточно популярных сейчас фитнес-браслетов, бытовых смарт-весов, да и в целом, таких систем, как умный дом и многое другое. Так или иначе, но вся затея с Интернетом вещей вращается вокруг социальных сетей и нового витка их развития. Уже сегодня можно поделиться результатами своего шагомера ВКонтакте, но вряд ли современные социальные сети трансформируются в концепцию социального IoT. Слишком много данных и слишком разные задачи придется решать таким сервисам.

Социальный интернет вещей – это прежде всего надежность и безопасность, подкрепленные доверием пользователей к смарт-устройствам. Информационная безопасность устройств IoT сейчас полностью зависит от надежности протоколов Интернет, технологий передачи данных, криптоалгоритмов, методов авторизации, аутентификации людей и устройств. Пока, это в своем большинстве, централизованные системы. Возможно, стремительное развитие распределенных методов построения информационных систем на базе технологии блокчейна кардинально решит, как вопрос безопасности Интернета вещей, так и доверия пользователей к смарт-концентраторам и множеству подключенных устройств.

### **3.10 Семантический Интернет вещей**

Семантический веб вещей – это развивающаяся область информационных и коммуникационных технологий, которая объединяет в себе две передовые концепции: «Интернета вещей» и семантического веба (последнее подразумевает представление доступной в

сети Интернет информации в виде, пригодном для машинной обработки). В рамках данного направления, в частности, с 2014 года реализуется проект SemIoT – Semantic Technologies for Internet of Things.

Основные характеристики и требования высокого уровня к IoT [9]:

- IoT способен предоставлять услуги, связанные с вещами, в рамках присущих вещам ограничений, таких как защита неприкосновенности частной жизни и семантическая согласованность между физическими вещами и соответствующими им виртуальными вещами. Для предоставления услуг, связанных с вещами, в рамках присущих вещам ограничений, изменятся технологии и физического, и информационного мира.

- Гетерогенность: в IoT устройства являются гетерогенными и базируются на различных аппаратных платформах и сетях. Они могут взаимодействовать с другими устройствами или платформами услуг через различные сети.

- Динамические изменения: динамические изменения характерны для состояния устройств, например спящий режим и пробуждение, подключенное и/или неподключенное состояние, а также контекста устройств, в том числе местоположения и скорость. Кроме того, может динамически изменяться количество устройств.

- Огромный масштаб: количество устройств, которыми необходимо управлять, и которые обмениваются данными друг с другом, как минимум на порядок превзойдет количество устройств, подключенных к интернету в настоящее время.

Произойдет существенное увеличение доли информационного обмена, инициированного устройствами, по сравнению с долей информационного обмена, инициированного людьми. Повысится значение управления создаваемыми данными и их интерпретации в прикладных целях. Это относится к семантике данных, а также к их



эффективной обработке. Для преобразования протоколов прикладного уровня между сетями требуется прикладной шлюз Интернета вещей.

На рис. 3.12 представлен пример архитектуры семантического шлюза Интернета вещей [3], который объединяет подсети, работающие на базе протоколов MQTT, CoAP, XMPP, HTTP/2. IoT gateway – маршрутизатор, используемый для анализа и коммутации получаемых пакетов между подсетями и таким образом обеспечивающий межпротокольное преобразование.

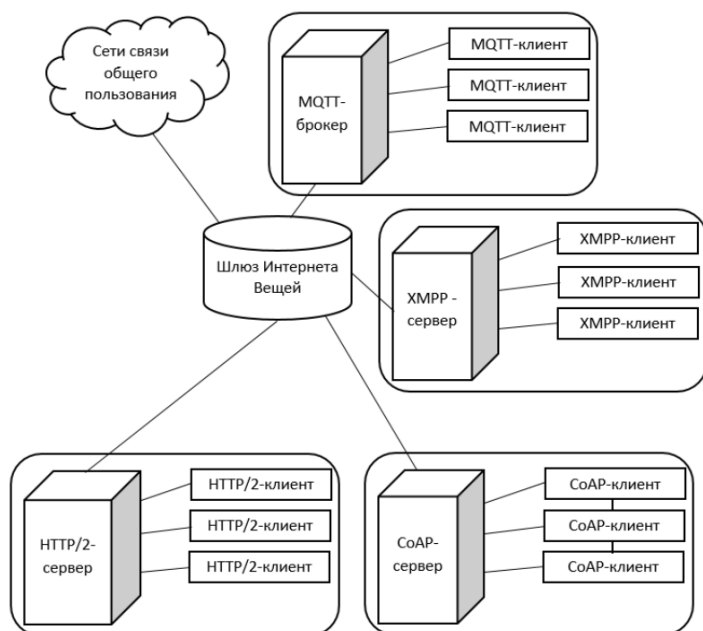


Рис. 3.12. Архитектура семантического шлюза IoT

Технологии Интернета Вещей, базирующийся на таких технологиях как RFID и беспроводные сенсорные сети (WSN), не предназначены для работы с закрытыми проприетарными протоколами.

Интернет вещей представляет будущее состояние Интернета как интеллектуальную и масштабируемую архитектуру, необходимую для обеспечения связи между различными проприетарными системами, что позволяет обнаруживать устройства Интернета вещей и интерпретировать сообщения, циркулирующие между ними.

В основном шлюзы и архитектуры Интернета вещей с поддержкой семантического преобразования используются для обеспечения взаимодействия между системами, с установленными стандартами обмена данными. Semantic Gateway as Service (SGS) позволяет осуществлять трансляцию между протоколами обмена сообщениями, такими как XMPP, CoAP и MQTT с помощью многопротокольной прокси-архитектуры.

### **Контрольные вопросы по главе 3**

1. На чем основывается «умная» планета?
2. Что входит в концепцию «умный» город?
3. Перечислите основные подсистемы «умного города».
4. Перечислите основные подсистемы «умного дома».
5. Перечислите преимущества и недостатки «умного дома».
6. Что входит в концепцию «умная энергия»?
7. Что входит в концепцию «Умный транспорт»?
8. Как работает система интеллектуального управления транспортом?
9. Что входит в концепцию «Умная жизнь»?
10. Что входит в концепцию «Умная носимая электроника»?
11. Что такое промышленный Интернет вещей?
12. Что такое Социальный Интернет вещей?
13. Что такое Семантический Интернет вещей?
14. Что входит в архитектуру семантического шлюза IoT?

## 4 СТАНДАРТЫ И ПРОТОКОЛЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Разработка успешных приложений IoT включает в себя задачи обеспечения мобильности: при перемещении IoT устройства меняется IP-адрес, следовательно, необходима налаженная работа протоколов маршрутизации; надежности (система должна быть очень надежной и быстрой в плане сбора и передачи данных и принятия решений), масштабируемости, т.е. возможности расширения пользователей сети.

Концепция Интернета вещей предполагает, что к сети будет подключены миллионы устройств. Также среди задач необходимо отметить обеспечение управления и доступности: отслеживание сбоев, конфигурации и производительности такого большого количества устройств, за что отвечают соответствующие протоколы управления. Кроме того необходимо обеспечить совместимость в сети: гетерогенные устройства и протоколы должны быть в состоянии работать друг с другом с учетом сохранения безопасности и конфиденциальности.

В общем случае принята следующая модель взаимодействия устройств в сети Интернета вещей. Оконечные устройства, датчики, сенсоры общаются друг с другом (так называемое взаимодействие D2D – Device to Device). Данные, собранные устройствами, отправляются на сервер для последующего анализа обработки (взаимодействие D2S – Device to Server). Этот сервер может включать в себя несколько вычислительных машин или объектов, которым также необходимо общаться между собой (взаимодействие S2S – Server to Server). Для выполнения различных задач необходимо использова-

ние различных протоколов. Далее приведены наиболее распространенные и перспективные протоколы на сегодняшний день, дано краткое описание каждому из них [10].

#### 4.1 Обзор существующих протоколов

**BACnet (Building Automation and Control Networks).** Открытый протокол автоматизации и управления инженерными сетями. Поддерживает спецификации BACnet IP и BACnet MS/TP для чтения/записи свойств объектов, доступа к сервисам устройств и обработки оповещений. Используется для домашней и промышленной автоматизации, управления процессами, тестирования и измерений, межмашинного взаимодействия (M2M).

**CAP (Common Alerting Protocol).** Протокол общего оповещения, предназначенный для обмена сообщениями CAP. Используется для приема и передачи сигналов об аварийных или нештатных ситуациях.

**CoAP (Constrained Application Protocol).** Веб-протокол передачи данных для использования в ограниченных узлах и сетях Интернета вещей [4]. В отличие от HTTP CoAP на транспортном уровне использует протокол UDP, клиент и сервер взаимодействуют без установления соединения. Основными преимуществами использования CoAP для IoT является простота, низкие затраты памяти и питания.

**DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol).** Протокол динамической настройки узла, позволяющий устройствам автоматически получать IP-адрес и другие параметры, необходимые для работы в сети TCP/IP [5]. В IoT служит для мониторинга работоспособности DHCP-сервера.

**DNP3 (Distributed Network Protocol).** Протокол передачи данных между объектами сети IoT: чтение/запись, выбор данных и

управление процессами: прямое управление, управление событиями и т. д. Для безопасной аутентификации используется расширение Secure Authentication.

**DNS (Domain Name System).** Протокол для получения IP-адреса по имени устройства [6]. В рамках IoT используется для мониторинга работоспособности DNS-сервера.

**Ethernet/IP.** Открытый промышленный протокол, который поддерживает обмен сообщениями (обмен сообщениями ввода/вывода в реальном времени). Стандарт EtherNet/IP обеспечивает объединение в единое информационное пространство всех компонентов систем автоматизации IoT – от уровней средств ввода/вывода, контроллерного оборудования, серверов до уровня систем управления предприятием.

**FTP (File Transfer Protocol).** Протокол прикладного уровня стека TCP/IP, предназначенный для передачи файлов в сети [7]. В IoT используется для мониторинга атрибутов удаленных файлов, контроля работоспособности FTP-сервера (мониторинг доступности, загрузки процессора, использования дискового пространства и памяти, состояния процессов, а также нестандартных метрик для серверов, работающих на различных платформах и операционных системах).

**GPS/GLONASS и M2M Data.** Система для получения произвольных отчетов от любых спутниковых датчиков и других устройств M2M через протоколы TCP или UDP. В IoT данная система лежит в основе управления транспортом и служит для определения и отслеживания местоположения, сбора, хранения, обработки и визуализации различных телеметрических данных. С ее помощью можно также осуществлять мониторинг текущего состояния автомобиля (скорость, топливо/уровень заряда батарей, текущий расход, уровень масла, и др.), эксплуатацию транспортных средств (удаленное выключение двигателя, отправка сообщений водителю или оператору и т.д.), мониторинг профилактических и ре-

монтажных работ, настройку обмена данными с системой управления запасами в режиме реального времени [8-10].

**МЭК 60870-5-104.** Протокол телемеханики, предназначенный для передачи данных в центры управления. Передача осуществляется после установки TCP соединения. Используется в решениях домашней и промышленной автоматизации (системы кондиционирования, освещения, видеонаблюдения, получение данных от счетчиков, измерительных преобразователей), контроля и управления центрами обработки данных.

**IMAP (Internet Message Access Protocol).** Протокол прикладного уровня модели TCP/IP, предназначенный для доступа к электронной почте [10]. IMAP позволяет не только принимать сообщения, но и управлять электронной почтой прямо на почтовом сервере, т. е. при просмотре письма не скачиваются на устройство, а остаются на сервере. Также протокол необходим для мониторинга работоспособности IMAP-сервера.

**JMS (Java Message Service).** Стандарт для обмена сообщениями, широко использующийся для интеграции серверных приложений, таких как базы данных, аналитических системы и автоматизации бизнес-процессов. JMS используется в основном с Java-приложениями. JMS широко используется в центрах обработки данных, что позволяет легко интегрировать в серверные приложения. Из недостатков для IoT можно отметить высокие требования к питанию, обработке и памяти устройств.

**LON/LonTalk.** Протокол для обмена данными, предназначенный для мониторинга и управления сетевыми устройствами, взаимодействующими через различные среды коммуникации такие, как витая пара, линии электропитания, оптоволокно, и беспроводную радиочастотную среду. Протокол используется для задач автоматизации различных функций в промышленном управлении, домашней автоматизации, мониторинга транспортных средств, а также в системах автоматизации зданий таких, как системы управления освещением.

щением и системы отопления, вентиляции, кондиционирования, системы интеллектуального здания.

**MQTT.** Сетевой протокол для обмена сообщениями в сетях с низкой пропускной способностью между устройствами, реализующих модель ведущий-ведомый. Работает поверх TCP/IP, который обеспечивает простой и надежный поток данных. Основной целью MQTT является удаленный мониторинг данных, собираемых из большого количества устройств, и их телеметрия в IT-инфраструктуру. Протокол нацелен на большую сеть небольших устройств, которые необходимо контролировать или управлять из облака. Также он предназначен для «многоадресной передачи» данных для многих приемников. MQTT чрезвычайно прост, предлагая несколько вариантов управления. Примером работы является мониторинг нефтепровода на наличие утечек или вандализма. Это информация от тысячи датчиков, которая должны быть сконцентрирована в одном месте для анализа. Когда система обнаруживает проблему, она может принять меры, чтобы исправить эту проблему.

**NetFlow.** Открытый протокол, разработанный компанией Cisco для мониторинга трафика в сети, и поддерживается не только оборудованием данной компании, но и устройствами от других производителей. Главными задачами протокола Netflow являются декомпозиция и глубокий анализ сетевого трафика [11]. Netflow предоставляет возможность анализа сетевого трафика на уровне сеансов, делая запись о каждой транзакции TCP/IP. Протокол Netflow содержит в себе три компонента: сенсор, коллектор и анализатор. Сенсор представляет собой устройство, фиксирующее данные о конкретном сеансе связи, которые проходят через него. Иными словами, сенсор фиксирует потоки, проходящие через него. Под потоками подразумеваются все пакеты, имеющие одинаковые поля адреса, порта, кода сообщений ICMP, версии протокола IP, сетевого интерфейса. Коллектор необходим для сбора информации от сенсоров и размещении ее в определенных базах дан-

ных. Анализатор в свою очередь осуществляет обработку данных и их визуализацию.

**SOAP (Simple Object Access Protocol).** Протокол технологий веб-служб, предназначенный для обмена произвольными XML сообщениями и вызова процедур. Чаще всего SOAP используется с HTTP. Примером использования могут служить запросы на сервер интернет-магазина, содержащие ID товара, для получения ответа с подробным описанием [10].

### **Контрольные вопросы по главе 4**

1. За что отвечает протокол CoAP?
2. За что отвечает протокол LON/LonTalk?
3. За что отвечает протокол NetFlow?
4. За что отвечает протокол MQTT?
5. За что отвечает протокол SOAP?



## 5 МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ИОТ

### 5.1 Создание приложения для «умного» устройства

Иот применяется во многих отраслях: от фитнеса до сельского хозяйства, а также в нашей повседневной жизни. Это явление также помогло упростить автоматизацию, поэтому его пользу для предприятий нельзя недооценивать. Помимо аппаратного обеспечения, системы Интернета вещей нуждаются в приложениях для управления самими устройствами. Поскольку разработка собственного Иот-приложения может быть довольно сложной, очень важно подготовиться к этому процессу. Три вещи, которые нужно должны знать о разработке приложений Иот [12]:

1. Ожидается, что в ближайшем будущем рынок Иот достигнет стоимости более 1 триллиона долларов.

Ускоренное внедрение ИИ и 5G является важным фактором роста глобального рынка Иот, который, как ожидается, достигнет \$1102,6 млрд к 2026 году. С ростом популярности облачных решений у технологии Иот есть шанс расшириться еще больше.

2. Аппаратное обеспечение имеет большое значение.

Несмотря на то, что для работы любой системы Интернета вещей требуется программное обеспечение, аппаратное обеспечение по-прежнему лежит в основе Иот. По этой причине быстрое и надежное подключение устройств является приоритетом при разработке приложений для Иот.

Наилучшие результаты обычно достигаются при использовании индивидуальных аппаратных решений. Тем не менее, не всегда возможно создать Иот-приложение, а также устройство с нуля.

В этом случае лучше выбрать высококачественное оборудование сторонних производителей. Хорошо созданное и протестированное приложение в сочетании с надежным оборудованием составляют идеальный IoT-дуэт. Кроме того, постоянные обновления помогают системе работать правильно и оставаться актуальной.

### 3. Разработка на технологии Open Source – будущее IoT.

Растущая популярность Интернета вещей, вероятно, приведет к тому, что программное обеспечение для разработки будет распространяться более открыто, чтобы создатели приложений могли с ним работать.

Open Source – это отличная возможность для компаний и отдельных людей сотрудничать и создавать лучшие решения для IoT. Такая стратегия может еще больше усовершенствовать рынок Интернета вещей [12].

## 5.2 IoT в разработке мобильных приложений

Спрос на системы и приложения для Интернета вещей в настоящее время чрезвычайно высок. Чтобы создать приложение для IoT, которое будет работать правильно и пользоваться успехом у пользователей, следует помнить несколько моментов [12].

Для создания IoT-приложений потребуется иметь под рукой все необходимые элементы системы, такие как аппаратное обеспечение, решение для хранения данных и само приложение.

Можно выбрать беспроводное подключение устройств (через Wi-fi или Bluetooth) или использовать USB. Кроме того, при разработке программного обеспечения IoT следует учитывать интересы конечного пользователя, поскольку домовладельцам и сотрудникам завода потребуются совершенно разные функции приложения.

При обсуждении вопроса о том, как создать IoT-приложение, нельзя не упомянуть о безопасности. Поскольку через такую си-

стему передаются огромные объемы данных, необходимы надежные хранилища и другие дополнительные решения.

Вспомним еще раз сферы применения и сделаем выводы.

**Здравоохранение и фитнес.** Индустрии здравоохранения значительно продвинулась вперед благодаря IoT. Различные устройства, от микроскопических датчиков до носимых устройств, могут отслеживать все – от сердечного ритма до активности – и позволяют пользователям лучше заботиться о себе. Оборудование Интернета вещей для фитнеса и здравоохранения также может включать такие приборы, как весы, и быть интегрировано в системы «умного дома».

**Автомобили.** В наши дни можно без проблем связать свой смартфон с автомобилем. Но возможности такого соединения могут выйти далеко за рамки IoT.

Когда к автомобилю добавляются дополнительные устройства и датчики, владелец может делать все, что угодно: от оценки его технических компонентов до парковки без особых усилий.

**Розничная торговля.** Интернет вещей предоставляет предприятиям розничной торговли удивительную возможность улучшить клиентский опыт. Данные, собранные с помощью системы IoT, могут помочь компаниям проанализировать поведение клиентов и оптимизировать работу магазина, а также организовать работу складов и многое другое. Касса самообслуживания в магазинах также становится очень популярной.

**Умные дома (и города).** Умные дома произвели революцию в повседневной жизни современного человека. IoT сделал возможным управление всем, от освещения до систем безопасности, всего лишь с телефона владельца.

То же правило применимо и к умным городам – правда, в гораздо больших масштабах. Здесь технология Интернета вещей позволяет властям автоматизировать и успешно управлять местной инфраструктурой.

**Специализированное использование.** Список ниш IoT может быть довольно длинным, и постоянно открываются новые области применения. Например:

- сельское хозяйство: фермеры могут управлять своими объектами и автоматизировать различные процессы;
- производство: оборудование обновляется с помощью IoT-датчиков для улучшения производства;
- банковское дело: облачные решения IoT помогают легко и безопасно отслеживать финансовые операции.

Fitbit – одно из самых известных IoT-устройств для здоровья и хорошего самочувствия. Компания предлагает умные браслеты и часы, которые позволяют пользователям отслеживать свою активность, питание, сон и многое другое.

Устройство Fitbit синхронизируется с приложением, которое обрабатывает и отображает все полученные данные. Оно предоставляет клиентам данные о пройденных шагах, этажах, сожженных калориях и т.д. Комбинация аппаратного и программного обеспечения упрощает и делает более интересным любой процесс – от снижения веса до улучшения режима сна.

Nest – это система умного дома от Google. Она предлагает широкий спектр компонентов, включая термостаты, замки, камеры, сигнализации. Все эти элементы соединены в систему IoT и управляются из одного приложения на телефоне владельца.

Zubie – это система управления автопарком для компаний по аренде автомобилей и дилерских центров. После установки устройств в автомобиль, пользователь может отслеживать местоположение, поведение водителя, состояние автомобиля, маркировку поездок и многое другое.

Устройство Zubie легко подключается к автомобилю, что делает процесс установки простым и быстрым. Организация работает по модели, основанной на подписке.

Поскольку создание IoT-приложений требует больших усилий и опыта, готовые решения пользуются большой популярностью. Хотя может показаться, что это отличный способ упростить процесс разработки, у использования таких платформ есть как преимущества, так и недостатки.

Плюсы:

- решение внедряется легко и надежно;
- поставщик платформы отвечает за разработку;
- для эксплуатации решения требуется меньше персонала;
- меньше проблем и рисков.

Минусы:

- более высокая стоимость;
- не каждая платформа будет обладать необходимой функциональностью;
- отсутствие возможности настройки;
- некоторые функции могут быть бесполезны в определенных случаях.

### 5.3 Инструменты и методы разработки приложений IoT

На рис. 5.1 показаны инструменты для разработки приложений Интернета вещей [12].



Рис. 5.1. Инструменты для разработки приложений Интернета вещей

**Google Cloud IoT.** Решение Google для IoT основано на сквозной платформе Google Cloud Platform. Это один из лучших инструментов Интернета вещей на сегодняшний день. Основные элементы системы включают:

- Cloud IoT Core (сбор и обработка данных устройств);
- Cloud Pub/Sub (ассимиляция потоков событий для аналитики в реальном времени);
- Google BigQuery (специальный анализ);
- Cloud Machine Learning Engine;
- Google Data Studio (визуализация данных для отчетов и информационных панелей);
- Cloud Functions (безсерверная среда для запуска автоматических изменений, а также создания и подключения других сервисов).

**Cisco IoT Cloud Connect.** Cisco IoT Cloud Connect – это программный пакет на базе облачных технологий, и это одна из лучших платформ Интернета вещей. Он обеспечивает возможности оптимизации, видимость в реальном времени и частые обновления. Ключевые функции решения:

- настраиваемый биллинг и отчетность;
- управление жизненным циклом SIM-карты;
- управление IP-сессиями;
- подключение голоса и данных.

**AWS IoT.** AWS IoT – это известное облачное решение, которое изначально было создано компанией Amazon для собственного использования. Благодаря независимым протоколам и облачной архитектуре платформа подходит для многих систем Интернета вещей. Основные характеристики:

- гибкость и адаптивность;
- отличная функциональность обмена данными и размещения файлов;

- поддержка сообщений и маршрутизация конечных точек AWS;

- повышенная безопасность (соответствие стандартам DSS, FISMA, HIPAA и др.).

**Azure IoT Suite.** Azure IoT Suite – это набор инструментов для Интернета вещей от Microsoft. Получил популярность благодаря простоте внедрения и широким возможностям, которые предлагает платформа. Основные характеристики решения:

- простая интеграция устройств;
- безопасный и масштабируемый доступ к банкам хранения данных;

- потоковая аналитика;

- обмен сообщениями между устройствами и облаком и между устройствами;

- Azure Web Apps Microsoft Power BI.

Рассмотрим, как создать приложение для IoT:

- выбрать платформу;

- выбрать аппаратное обеспечение;

- выбрать способ хранения данных;

- разработать алгоритм и приложение;

- обеспечить высочайший уровень безопасности.

На начальном этапе необходимо выбрать платформу Интернета вещей и соответствующее оборудование, будь то заказное или готовое.

Стремление автоматизировать все возможные процессы и необходимость оптимизировать вовлечение работников – вот некоторые из тенденций, влияющие на популярность Интернета вещей. Вероятно, в ближайшие годы (до 2030 года) можно будет увидеть, как присутствие IoT будет расти с впечатляющей скоростью.

## Контрольные вопросы по главе 5

1. Что такое Fitbit?
2. Для чего необходима система Nest?
3. Для чего необходима система Zubiе?
4. Какие существуют инструменты для разработки приложений Интернета вещей?
5. Что такое Azure IoT Suite?
6. Для чего необходимо облачное решение AWS IoT?
7. Что такое Google Data Studio?
8. Перечислите основные характеристики AWS IoT.
9. Что необходимо для создания IoT-приложений?
10. Какие методы разработки приложений для функционирования IoT существуют?



## 6 ПРОГРАММЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ ИОТ

Рассмотрим лучшие программы для Интернета вещей, которые можно использовать в любом проекте прямо сейчас. Выбор был основан на новых тенденциях Интернета вещей [13].

### 1. Ардуино (IDE).

Неудивительно, что программное обеспечение Arduino IoT возглавляет этот список. Являясь де-факто инструментом Интернета вещей, можно найти большое количество захватывающие проекты Интернета вещей, созданные с помощью Arduino.

IDE Arduino – незаменимый инструмент для разработчиков, когда дело доходит до написания кода для их инновационного IoT-проекта. Независимо от того, является ли человек опытным разработчиком или новичком, желающим поработать руками с IoT, Arduino IDE – идеальный инструмент для запуска вашего программирования IoT.

Рассмотрим особенности Arduino (IDE). Arduino IDE поддерживает разработку собственных микроконтроллеров с использованием встроенных языков программирования C и C++. Этот кросс-платформенный интегрированный редактор разработки написан на Java, таким образом, предлагая производительность, равную лишь немногим. Можно загружать свои коды на микроконтроллеры напрямую с помощью Arduino IDE. Он также предлагает удобный веб-редактор для тех, кто не хочет устанавливать полноценный редактор в свою систему.

**2. Windows IoT.** Windows IoT – это популярная операционная система для встраиваемых систем, которая обеспечивает удобную разработку и обслуживание IoT-устройства. Он основан на семействе

операционных систем Windows и представляет собой отличный инструмент для бесперебойной поддержки ваших компонентов IoT.

ОС Windows IoT, ранее известная как Windows Embedded, имеет три различных типа: Enterprise, Mobile и Core. Это программное обеспечение IoT широко используется в промышленных устройствах Интернета вещей, в которых задействовано множество автомобильных процессов.

Рассмотрим основные особенности Windows IoT. Эта операционная система IoT предназначена для разработки интеллектуальных устройств IoT, требующих небольшого объема памяти.

Windows IoT призван повысить удобство работы с приложениями UWP, одновременно предоставляя более доступную платформу для разработки такого программного обеспечения для Интернета вещей. Эта встроенная операционная система дает разработчикам доступ к обширной и уже существующей экосистеме Windows. Приложения, созданные на основе этой ОС, можно очень легко интегрировать в облачные платформы, такие как Azure.

**3. Android Вещи.** Поскольку число пользователей смартфонов растет с каждым днем, такие устройства стали важной площадкой для развертывания приложений Интернета вещей нового поколения. Android, де-факто операционная система для смартфонов во всем мире, обеспечивает передовая платформа для разработки впечатляющих систем Интернета вещей. Это программное обеспечение под названием Android Things представляет собой удобную платформу для систем Интернета вещей, которые требуют значительно меньшего объема памяти и одновременно поддерживают множество архитектур на базе ARM [14].

Основные моменты Android Things – эта система будет поддерживать устройства с ограниченными ресурсами и отлично работать даже в системах с 32 МБ ОЗУ. Android Things поставляется с готовым к использованию низкочастотным сигналом Bluetooth и встроенным Wi-Fi. Если хотите создавать современные решения

IoT, использующие популярный Google Assistant, то это программное обеспечение для Интернета вещей своим лучшим выбором.

**4. Microsoft Azure.** Microsoft Azure – это распределенная платформа облачных вычислений, которая позволяет создавать, развертывать и тестировать следующее программное обеспечение IoT исключительно в облаке. Он используется в отрасли либо как платформа как услуга (PaaS), либо как инфраструктура как услуга (IaaS). Это означает, что IoT разработает приложение IoT, которое будет полностью независимым от машины, и будет использовать одну из упомянутых выше служб, чтобы работать как сама система. С момента выпуска своей общей доступности для Интернета вещей Microsoft Azure приобрела широкую популярность в сообществе встраиваемых систем.

Рассмотрим основные характеристики Microsoft Azure. Эта облачная платформа предлагает более 100 готовых удобных сервисов для использования в вашем следующем проекте Интернета вещей. Его надежные службы обработки данных и аналитики делают его подходящим для создания интеллектуальных систем Интернета вещей [14].

Можно разрабатывать распределенные блокчейн-решения для Интернета вещей с помощью Microsoft Azure.

**5. MQTT.** MQTT, аббревиатура от Message Queuing Telemetry Transport, представляет собой протокол обмена сообщениями, который работает поверх протокола TCP / IP (рис. 6.1). Это фактический протокол обмена сообщениями, используемый в IoT для внутренней связи с устройствами. Это программное обеспечение IoT обеспечивает стандартные протоколы IoT ISO для внутреннего общения. Он предлагает современные меры безопасности, такие как SSL и TLS, чтобы гарантировать такую же безопасность передачи, как и в полнофункциональных вычислительных системах.

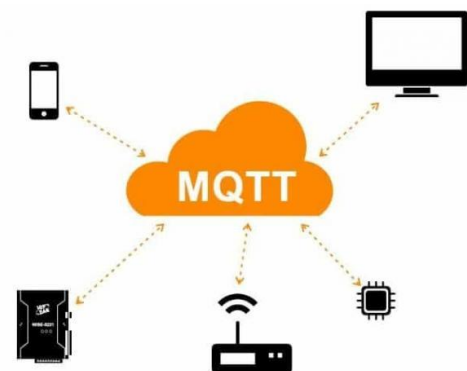


Рис. 6.1. Основные моменты MQTT

Этот протокол обмена сообщениями использует парадигму публикации-подписки для эффективного сетевого взаимодействия между повседневными устройствами Интернета вещей. Из-за своего небольшого размера в сочетании с низким энергопотреблением это приложение идеально подходит для устройств Интернета вещей с большими ограничениями ресурсов. Это де-факто среда межсетевого взаимодействия для устройств, имеющих доступ к минимальной полосе пропускания. Он широко используется в системах домашней автоматизации из-за его легкого дизайна и небольшого размера кода.

**6. Raspbian.** Raspbian – наиболее широко используемая операционная система для Raspberry Pi. Благодаря тому, что Raspbian является Unix-подобной системой, он привлекает многих энтузиастов с открытым исходным кодом, которые используют его для разработки впечатляющих проектов Интернета вещей. Эта ОС IoT предлагает отличную производительность даже в системах с очень небольшими аппаратными ресурсами.

**7. MindSphere.** MindSphere – это открытая облачная платформа операционной системы для современных устройств Интернета вещей.

Это программное обеспечение для Интернета вещей, разработанное компанией Siemens, позволяет повседневным устройствам Интернета вещей эффективно собирать и использовать облачные данные и принимать на их основе интеллектуальные решения.

Это IoT -приложение широко используется для сбора телеметрических и географических данных в реальном времени.

Это идеальное решение для создания автоматизированных систем производства и управления транспортными средствами.

**8. Azure Sphere.** Azure Sphere также является продуктом софтверного гиганта Microsoft. Хотя эта операционная система внешне идентична программному обеспечению Microsoft Azure IoT, она основана на знаменитом ядре Linux. Он был продан Microsoft, чтобы завоевать популярность в огромном сообществе Linux с открытым исходным кодом, и с тех пор пользуется успехом во всем мире. Эта платформа, созданная для использования с архитектурой класса ARM, сочетает в себе все функциональные элементы Microsoft Azure с экосистемой Unix мирового класса [16].

**9. Thingspeak.** Thingspeak – это программное обеспечение IoT, которое предоставляет мощные API-интерфейсы для хранения и извлечения данных на устройствах IoT по протоколу HTTP или через LAN (локальную сеть). Приложение IoT подходит для систем аналитики IoT, которые требуют сбора данных с различных устройств – от промышленных до экономичных. Если искать мощное приложение Интернета вещей, которое хорошо работает с ограниченной пропускной способностью, это лучшее решение для вашего следующего проекта Интернета вещей.

Thingspeak позволяет разработчикам легко собирать данные датчиков со своих устройств Интернета вещей. Благодаря эффективной реализации приложения Matlab разработчики могут эффективно анализировать свои данные IoT с помощью этого приложения. Можно запрограммировать свое IoT-приложение на запуск определенной логики на основе анализа, предоставленного Thingspeak.

**10. Node-RED.** Node-RED – одно из лучших программ для Интернета вещей, которое позволяет разработчикам объединять отдельные потоки, используя мощные и удобные API-интерфейсы и онлайн-сервисы. Это интерактивный визуальный инструмент, который позволяет разработчикам подключать различные компоненты своих систем IoT. Node-RED предлагает удобную и многофункциональную панель управления с мощными методами управления этими потоками. Можно получить в свои руки мощный инструмент командной строки Node generator, который использует модули узлов Node-RED из нескольких источников. Можно развернуть свои потоки во время выполнения напрямую одним щелчком мыши с помощью этого инструмента повышения производительности.

**11. Predix.** Это одно из лучших программ IoT для анализа данных, которое можно использовать в проекте IoT. Predix, разработанный General Electric, предлагает удобное и простое решение для сбора и оценки ваших данных IoT и помогает спрогнозировать важные шаги для максимизации реального потенциала вашего IoT система. Он предоставляет облачную PaaS (платформу как услугу), которая упрощает управление эффективностью активов (APM).

Predix поможет подключить IoT-машины, данные и аналитику для эффективной оценки вашего бизнес-потенциала. Этот инструмент Интернета вещей помогает ограничить риски, добавить контроль и улучшить видимость экосистемы Интернета вещей. Инструмент управления данными и аналитики, поставляемый с Predix, является мощным и помогает предприятиям определить, как их Интернет вещей будет набирать обороты.

**12. AllJoyn.** AllJoyn – это гибкая платформа, которая обеспечивает беспрепятственную среду связи для интеллектуальных устройств IoT. Это мощное, но в то же время совместное программное обеспечение IoT оправдывает свою шумиху и предоставляет основной набор мощных сервисов приложений, которые обеспечивают взаимодействие между подключенными устройствами Интернета вещей.

**13. LiteOS.** Это операционная система IoT в реальном времени, которая поддерживает почти все архитектуры ARM и микроконтроллеры. Это программное обеспечение IoT, разработанное Huawei, требует очень мало аппаратных ресурсов и в то же время оставляет крошечный объем памяти. Если проект IoT требует быстрого отклика, совместной работы нескольких датчиков и подключения нескольких протоколов, то можно рассмотреть возможность использования LiteOS. Эта встроенная операционная система предлагает множество комплектов разработки для быстрого запуска ваших проектов и поддерживает более 50 плат для разработки. Это самая энергоэффективная операционная система Интернета вещей. Все программное обеспечение работает на высокой скорости и загружается за миллисекунды.

**14. DAT.** Предлагаемый на рынке как одноранговый веб-протокол следующего поколения, DAT полностью соответствует своему статусу инструмента, который будет использоваться в проектах будущего поколения IoT. Это увеличивает тягу к перемещению открытых данных и предлагает удобные средства для улучшения совместной работы в целом. Это программное обеспечение IoT создано для разработчиков, которым нравится использовать децентрализованные рабочие процессы в своем Интернете вещей. Это программное обеспечение IoT с открытым исходным кодом предлагает очень мощные API-интерфейсы JavaScript и бесплатный, но интуитивно понятный инструмент командной строки. Его можно использовать для проектов Интернета вещей, которые работают с огромными (миллиардами!) данными и должны управлять ими в режиме реального времени.

Можно автоматически синхронизировать данные и потоки и обновлять всю коллекцию данных с помощью этого удобного инструмента Интернета вещей.

**15. Thingsquare Mist.** Thingsquare Mist – отличный инструмент для Интернета вещей, который делает беспроводную ячеистую сеть

для современных проектов Интернета вещей очень простой и одновременно отказоустойчивой.

Обладая легким дизайном и низкими системными требованиями, это универсальное программное обеспечение IoT проверено на практике и высоко ценится в сообществе разработчиков ПО с открытым исходным кодом. Он спроектирован так, чтобы быть чрезвычайно энергоэффективным и работать даже с системами, работающими от крошечных батареек [16]. Thingsquare Mist обеспечивает готовую поддержку самого доступного оборудования.

**16. RIOT.** Это современная легкая операционная система для устройств Интернета вещей, которые стремятся быть очень энергоэффективными, но в то же время практичными. Конструкция этой операционной системы IoT на основе микроядра делает ее особенно прибыльной для разработчиков, которым нужна стабильная, но не занимающая много места операционная платформа для своих устройств.

Это программное обеспечение для Интернета вещей отлично подходит для разработки решений Интернета вещей, требующих очень высокого уровня модульности. Он поставляется с встроенной поддержкой независимой разработки оборудования, что делает его идеальным для использования в проектах Интернета вещей.

**17. Tessel 2.** Эта платформа Интернета вещей использует возможности Node. Tessel 2 охватывает все аспекты современной робототехники, от добавления датчиков до использования периферийных устройств. Tessel 2 предлагает экосистему plug-and-play, что делает его самым быстрым программным обеспечением для создания прототипов проектов робототехники.

Помимо множества полезных модулей с открытым исходным кодом, поставляется с десятью модулями контактов по умолчанию – от акселерометра до инфракрасного. Tessel 2 поставляется со встроенным беспроводным подключением и подключением к сети Ethernet.



**18. Arm Mbed.** Arm Mbed – популярная платформа для запуска устройств Интернета вещей с особым упором на централизованную платформу обмена данными между устройствами. Он направлен на расширение возможностей разработчиков для создания интеллектуального интернета вещей на предприятии.

**19. OpenRemot.** OpenRemote – одна из лучших программ промежуточного программного обеспечения для интернета вещей, которое можно использовать в любом проекте. Это универсальная серверная часть Интернета вещей, состоящая из трех основных компонентов, каждый из которых преследует разные цели.

Можно получить дизайнера для разработки системы, контроллер, который действует как мозг и управляет устройствами, и, наконец, консоль, которая дает доступ к графическому интерфейсу.

**20. ROS** (операционная система роботов). Поскольку робототехника находится в центре большинства передовых дискуссий об IoT, неудивительно, что большое количество мощного программного обеспечения IoT предназначено исключительно для этой инновационной инженерной области. ROS – это мощная полноценная операционная система для роботов, которая включает в себя убедительный набор программных библиотек и инструментов для повышения вашей производительности.

Индустрия Интернета вещей – это постоянно развивающаяся технология, которая развивается каждый день. В связи с постоянным снижением затрат на ресурсы и увеличением выпуска полезного программного обеспечения IoT, эта область будет продолжать развиваться в ближайшие годы.

## Контрольные вопросы по главе 6

1. Перечислите программы для проектирования устройств Интернета вещей.
2. Что представляет собой Arduino IoT?

3. Что представляет собой платформа Microsoft Azure?
4. За что отвечает протокол MQTT?
5. Что представляет собой операционная система Raspbian?
6. Что представляет собой облачная платформа MindSphere?
7. Что представляет собой операционная система Azure Sphere?
8. Что представляет собой программное обеспечение Thingspeak?
9. Что представляет собой Node-RED?
10. Что представляет собой операционная система LiteOS?
11. Что представляет собой операционная система ROS?
12. Что представляет собой программа OpenRemote?
13. Что представляет собой платформа Arm Mbed?
14. Что представляет собой платформа Tessel 2?
15. Что представляет собой операционная система RIOT?
16. Что такое Thingsquare Mist?
17. За что отвечает протокол DAT?
18. В чем разница между платформами Tessel 2 и Arm Mbed?
19. В чем разница между операционными системами LiteOS и ROS?
20. В чем разница между платформами MindSphere и Tessel 2?

## 7 МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ИОТ В TINKERCAD

### 7.1 Принципы функционирования микроконтроллеров IoT. Контроллеры в решениях IoT

В настоящее время большинство решений IoT на практике реализуются согласно схеме, приведенной на рис. 7.1.

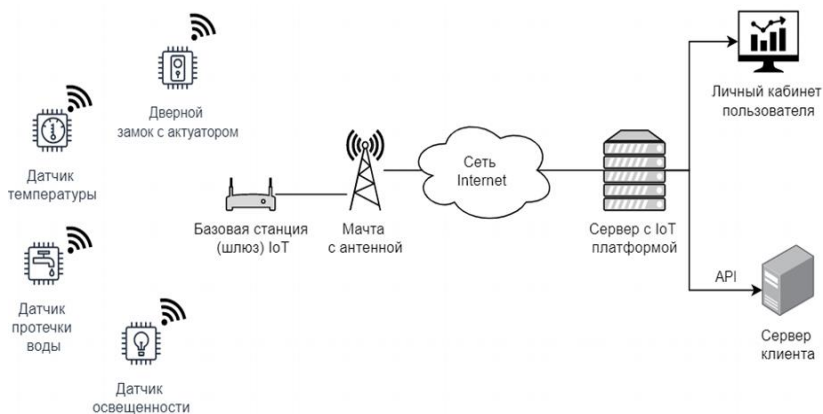


Рис. 7.1. Схема типового решения IoT

Устройства IoT («вещи») представляют из себя датчик или актуатор, совмещенные с контроллером зачастую в одном корпусе. При этом устройство IoT помимо контроллера может содержать одновременно как датчик, так и актуатор [16].

Напомним, датчик – это устройство, обеспечивающее преобразование сведений о внешней среде в машиночитаемые данные. По

устройству датчики могут быть как простейшими устройствами измерения температуры, освещенности, влажности, основанными на физическом воздействии природных факторов (влажности, температуры и др.) на электронный компонент (резистор, конденсатор и др.), так и достаточно сложными измерительными приборами.

Актуатор – (или исполнительное устройство) это функциональный элемент системы автоматического управления, который воздействует на объект управления, изменяя поток энергии или материалов, которые поступают на объект. Актуатор может быть как простейшим устройством, таким как RGB- светодиод, так и сложным устройством автоматического управления, например, работающим в составе промышленного робота.

Таким образом, датчик – это устройство, которое считывает и отправляет информацию в контроллер, а актуатор – это устройство, которое принимает информацию из контроллера и изменяет свое состояние в зависимости от характера этой информации, выполняя, таким образом, полезные действия (например, вращает водопроводный кран, толкает каретку оконных штор и т.п.). Информация от датчика (или актуатора) к контроллеру и обратно может передаваться в аналоговом или цифровом виде.

Контроллеры могут подключаться к шлюзу проводным и (преимущественно) беспроводным способом. В настоящее время в решениях IoT могут быть использованы технологии беспроводного подключения, такие как 6LoWPAN, LoRA, ZigBee, WiFi, CIoT (EC-GSM-IoT, LTE Cat 0, LTE Cat 1, LTE Cat M1(eMTC), LTE Cat NB(NB-IoT). Эти стандарты различаются по скорости передачи данных, используемым диапазонам частот (лицензируемым и нелицензируемым), дальности связи, форматом передаваемых сообщений и др.

Существуют и другие схемы решений IoT. Например, шлюз может отсутствовать в схеме, и устройства («вещи») могут напрямую подключаться к сети Интернет. В таком случае, само устройство

значительно усложняется, в связи с чем увеличивается его стоимость и стоимость решения в целом.

Следует отметить, что, хотя рассматриваемые контроллеры могут использоваться в решениях IoT, они зачастую не предназначены для использования в промышленных и коммерческих проектах IoT, так как не соответствуют критически важным для таких решений требованиям: надежности, расширяемости и безопасности. Однако, принципы функционирования и разработки программ для любых контроллеров в целом схожи.

Для примера рассмотрим принципы работы контроллеров и научимся основам разработки программ управления датчиками и актуаторами для контроллеров на примере работы прибора учета электроэнергии, содержащего контроллер, который считывает данные по току, вычисляет значение количества потребляемой электроэнергии и передает это значение в шлюз и/или облачную платформу IoT. Это одно из наиболее распространенных коммерческих решений, реализуемых современными компаниями на рынке IoT [17].

## **7.2 Устройство контроллеров**

Микроконтроллер – это микрочип или плата с микрочипом для решения клиентских частей IoT-проектов. Некоторые проекты в IoT проще всего решить на микроконтроллерах. Они поддерживают множество стандартов ввода и вывода, работают с меньшим энергопотреблением и стоят дешевле по сравнению с микрокомпьютерами. Недостатком является меньшая вычислительная мощность и отсутствие операционной системы по умолчанию. Наиболее популярными микроконтроллерами являются Atmel, STM, Arduino, ESP8266, ESP32 и др.

Микрокомпьютер обычно представляет собой систему на чипе, включая классическую архитектуру фон Неймана с центральным

процессором, видекартой, оперативной памятью, модулями подключения к сетям связи и портами ввода-вывода. Современные микрокомпьютеры используют такие операционные системы, как Linux и Windows. Как правило, микрокомпьютеры имеют большую вычислительную мощность, чем микроконтроллеры, видеовыход на HDMI, высокоскоростной Wi-Fi и Bluetooth, подключение к картам флэш-памяти и M.2 и т.д. Недостатком микрокомпьютеров является более высокая цена и более высокое энергопотребление по сравнению с микроконтроллерами. Микрокомпьютеры используются в проектах IoT, если вам необходимо выполнять задачи высокого уровня, включая потоковое видео, сложные вычисления и т.п. На рис. 7.2 представлены обозначения разъемов Arduino.

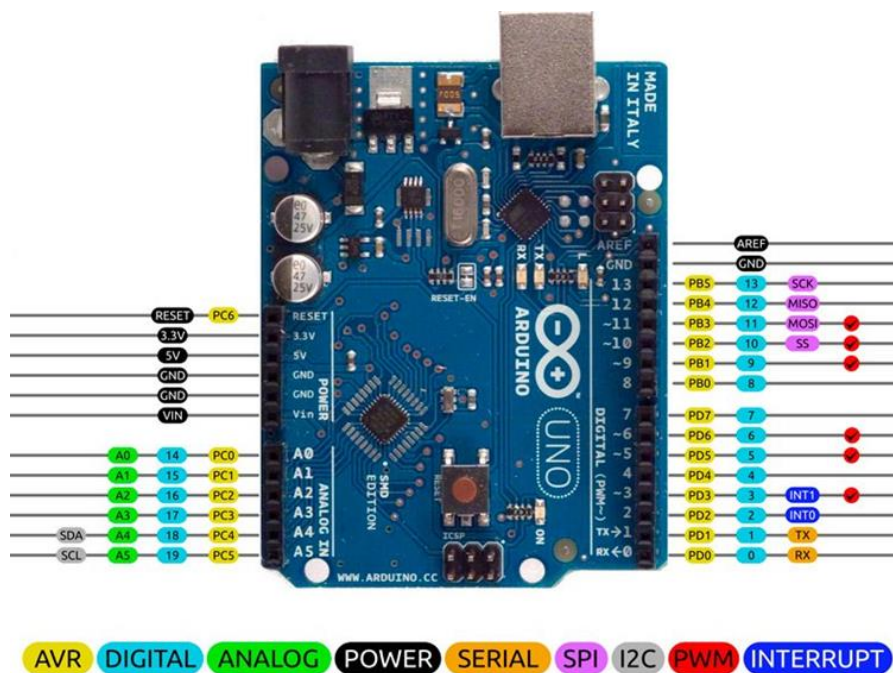


Рис. 7.2. Плата Arduino с обозначением разъемов (пинов)

Можно использовать модель контроллера Arduino Uno.

Arduino Uno – плата от компании Arduino, построенная на микроконтроллере ATmega 328. Плата имеет 6 аналоговых входов, 14 цифровых выводов общего назначения (могут являться как входами, так и выходами), кварцевый генератор на 16 МГц, два разъема: силовой и USB, разъем ISP для внутрисхемного программирования и кнопку горячей перезагрузки устройства. Для стабильной работы плату необходимо подключить к питанию либо через встроенный USB разъем, либо к источнику от 7 до 12 В. Через переходник питания плата также может работать от батареи.

Плата Arduino Uno имеет 3 способа подключения питания: через USB, через внешний разъем питания и через разъем Vin. Плата имеет встроенный стабилизатор, позволяющий не только автоматически выбирать источник питания, но и выравнивать ток до стабильных 5 вольт, необходимых контроллеру для работы. Внешнее питание можно подавать как напрямую от USB порта компьютера, так и от любого AC/DC блока питания через разъем питания или USB.

На плате предусмотрено несколько выводов, позволяющих подключать к питанию датчики, сенсоры и актуаторы. Все эти выводы помечены:

Vin – вход питания, используется для получения питания от внешнего источника. Через данный вывод происходит только подача питания на плату, получить через него питание для внешних устройств невозможно. На вход Vin рекомендуется подавать напряжение в диапазоне от 7 В до 20 В, во избежание перегрева и сгорания встроенного стабилизатора.

5V – источник напряжения для питания внешних устройств. При получении питания платой из любых других источников (USB, разъем питания или Vin) на этом контакте всегда можно получить стабильное напряжение 5 вольт. Его можно вывести на макетную плату или подать напрямую на необходимое устройство.

3V3 – источник напряжения 3.3 вольта для питания внешних устройств. Работает по такому-же принципу, что и контакт 5V. Его также можно вывести напряжение на макетную плату, либо подать на необходимый датчик/сенсор напряму.

GND – контакт для подключения земли. Необходим для создания замкнутой цепи при подключении к контактам Vin, 5V или 3V3. Во всех случаях ножку GND необходимо выводить как минус, иначе цепь не будет замкнута и питание (что внешнее, что внутреннее) не будет подаваться.

На плате выведены 14 цифровых пинов (контактов), любой из которых может работать как на вывод информации, так и на ввод. Для этого в коде программ применяются специальные функции:

- `pinMode()`, служит для задания режима работы контакта, будет-ли он работать на выход или на вход. В данной функции задается номер контакта, которым можно управлять.

- `digitalRead()` считывает текущее значение с заданного контакта – его значение может быть HIGH или LOW.

- `digitalWrite()` передает определенное значение на заданный контакт – оно может быть HIGH или LOW.

Все выводы выдают логическую единицу как напряжение 5 В. Каждый вывод платы имеет нагрузочный резистор номиналом 20–50 кОм и может пропускать до 40 мА, но по умолчанию все они отключены. Также, на контактных площадках Arduino Uno выведены специальные интерфейсы подключения различных цифровых устройств.

Для передачи данных с контроллера в шлюз или между контроллерами могут использоваться проводные и беспроводные технологии. Для чего к соответствующим интерфейсам платы контроллера могут быть подключены медные проводники или радио модули.

Во многих решениях IoT предпочтение отдается беспроводному подключению ввиду удобства и экономичности (во многих проектах конечные устройства могут размещаться в труднодоступных местах –



подвалах, за трубами и т.п., куда сложно протянуть кабели). В настоящее время в большинство контроллеров могут быть встроены или подключаться в качестве плат расширения различные модули беспроводной связи, начиная с простейших одночастотных RF-модулей и заканчивая продвинутыми Bluetooth и Wi-Fi модулями.

### 7.3 Разработка программ для контроллеров

Обычно программировать микроконтроллеры можно с помощью языков программирования высокого уровня, таких как C, C++, Python и т.д. Будем рассматривать модели контроллера Arduino, поэтому для разработки программ будет использоваться специальный язык Arduino C [17].

Язык программирования Arduino C представляет собой язык C++ с фреймворком Wiring [17]. Программы, написанные программистом Arduino, называются наброски или скетчи (транслитерация от англ. sketch) и сохраняются в файлах с расширением \*.ino. Эти файлы перед компиляцией обрабатываются препроцессором Arduino. Также существует возможность создавать и подключать к проекту стандартные файлы C++.

Программист должен написать две обязательные для Arduino функции `setup()` и `loop()`. Первая вызывается однократно при старте, вторая выполняется в бесконечном цикле.

В текст своей программы (скетча) программист не обязан вставлять заголовочные файлы используемых стандартных библиотек. Эти заголовочные файлы добавит препроцессор Arduino в соответствии с конфигурацией проекта. Однако, пользовательские библиотеки нужно указывать.

Arduino IDE не предлагает никаких настроек компилятора и минимизирует другие настройки, что упрощает начало работы для

новичков и уменьшает риск возникновения проблем; но присутствуют директивы препроцессора, такие как `#define`, `#include`, и много других.

На рис. 7.3 представлен полный текст простейшей программы (скетча) мигания светодиодом, подключенного к 13 выводу (пину) Arduino, с периодом 2 секунды (полпериода, то есть 1 секунду светодиод горит, полпериода – не горит).

Все используемые в этом примере функции являются библиотечными. В комплекте Arduino IDE имеется множество встроенных примеров программ. Существует перевод документации по Arduino на русский язык [16].

```
void setup () {  
  pinMode (13, OUTPUT); // Назначение порта 13 в качестве выходного порта  
}  
  
void loop () {  
  digitalWrite (13, HIGH); // Установка порта 13 в состояние "1", светодиод загорается  
  delay (1000); // Задержка на 1000 миллисекунд  
  digitalWrite (13, LOW); // Установка порта 13 в состояние "0", светодиод гаснет  
  delay (1000); // Задержка на 1000 миллисекунд  
}
```

Рис. 7.3. Пример программы Arduino для управления актуатором (светодиодом)

## 7.4 Среда моделирования Tinkercad

Для эмуляции контроллера Arduino и симуляции его работы с внешними будем рассматривать среду моделирования Tinkercad Circuits Arduino.

Tinkercad Circuits Arduino – это бесплатный, простой и одновременно мощный онлайн-эмулятор Arduino, предоставляющий удобную среду для написания различных проектов. Для начала работы необходимо получить аккаунт Autocad. Регистрация в Tinkercad бесплатная. Необходимо зайти на сайт <https://www.tinkercad.com/> и выполнить простые шаги регистрации.

После регистрации зайти в свою учетную запись и в меню слева выберите вкладку «Цепи» («Circuits») (рис. 7.4). После этого нажать кнопку «Создать цепь». Можно перейти на главный экран Tinkercad Circuits Arduino (рис. 7.5). Для моделирования контроллера Arduino Uno кликнуть по соответствующему элементу из списка в меню справа (рис. 7.5) и, переместив курсор в рабочую область, кликнуть по ней левой клавишей мыши.

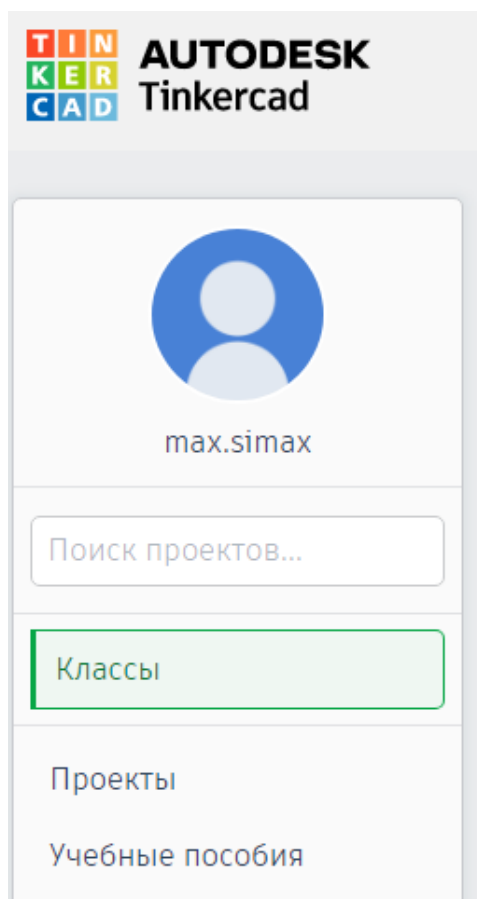


Рис. 7.4. Меню главного экрана Tinkercad

Для создания нужно выбрать необходимые элементы и выполнить действия, аналогичные добавлению контроллера. После этого можно соединить элементы с помощью проводников, подключить проводники к ножкам электронных компонентов и контактам контроллеров либо соединить их через макетную плату.

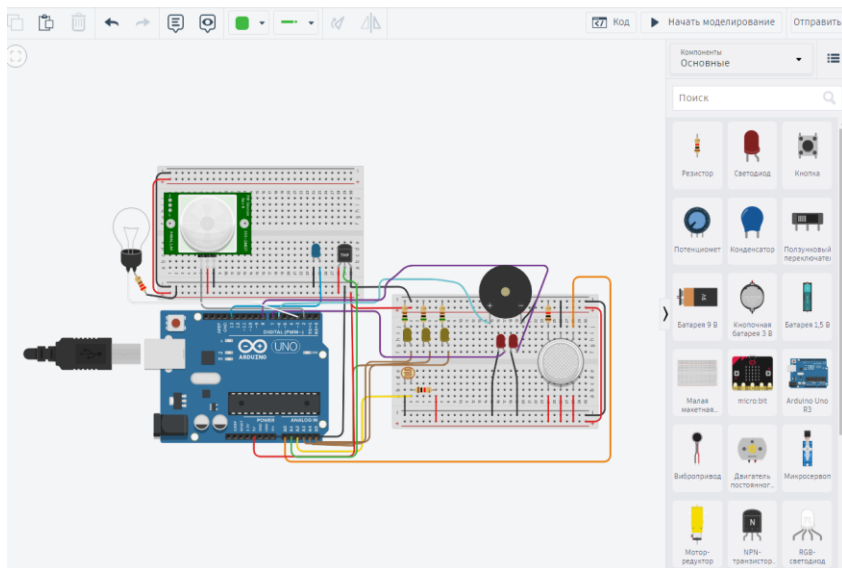
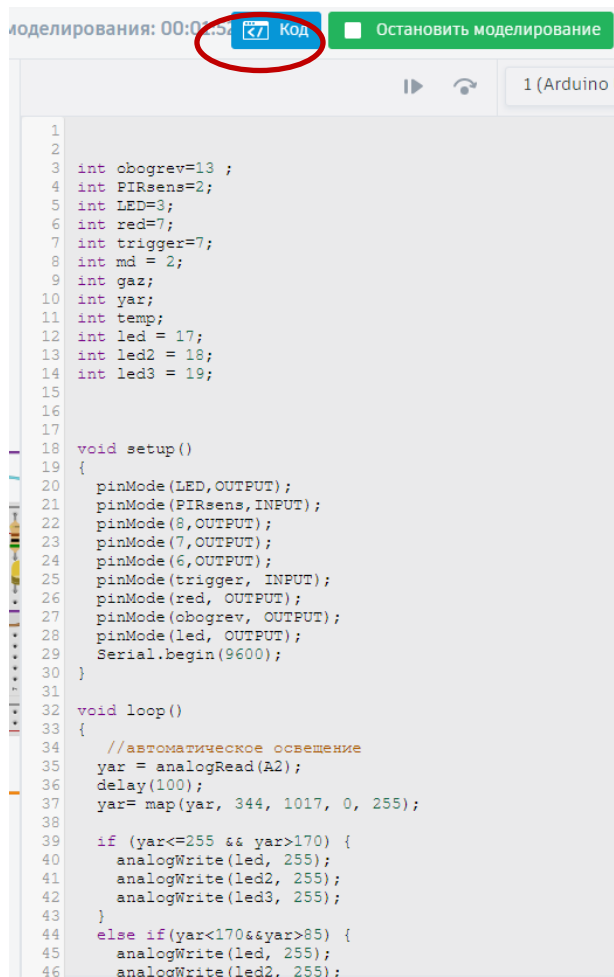


Рис. 7.5. Главный экран Tinkercad Circuits Arduino

Для написания кода нажать по кнопке «Код». Справа на главном экране откроется панель редактирования кода (рис. 7.6). Если в проекте несколько контроллеров, то выбор контроллера для программирования осуществляется нажатием по соответствующей кнопке в меню справа (на рис. 7.6 выделено в красный овал). Так, на рис. 7.6 приведен код для 2-го контроллера в проекте. Для запуска написанной программы нужно нажать кнопку «Начать моделирование». Если в коде предусмотрен вывод данных в последовательный интерфейс контроллера, то результат можно наблюдать на панели

справа снизу «Монитор последовательного интерфейса» (рис. 7.6). Если по умолчанию он закрыт, то кликнуть по соответствующей кнопке в нижней части панели справа. Монитор последовательного интерфейса удобно использовать для проверки работоспособности вашего кода, добавив в код соответствующие функции. Также здесь отображаются ошибки, возникающие при компиляции кода.



```
моделирования: 00:00:54 Код  Остановить моделирование
1
2
3 int obogrev=13 ;
4 int FIRsens=2;
5 int LED=3;
6 int red=7;
7 int trigger=7;
8 int md = 2;
9 int gaz;
10 int yar;
11 int temp;
12 int led = 17;
13 int led2 = 18;
14 int led3 = 19;
15
16
17
18 void setup()
19 {
20   pinMode(LED,OUTPUT);
21   pinMode(FIRsens,INPUT);
22   pinMode(8,OUTPUT);
23   pinMode(7,OUTPUT);
24   pinMode(6,OUTPUT);
25   pinMode(trigger, INPUT);
26   pinMode(red, OUTPUT);
27   pinMode(obogrev, OUTPUT);
28   pinMode(led, OUTPUT);
29   Serial.begin(9600);
30 }
31
32 void loop()
33 {
34   //автоматическое освещение
35   yar = analogRead(A2);
36   delay(100);
37   yar= map(yar, 344, 1017, 0, 255);
38
39   if (yar<=255 && yar>170) {
40     analogWrite(led, 255);
41     analogWrite(led2, 255);
42     analogWrite(led3, 255);
43   }
44   else if(yar<170&&yar>85) {
45     analogWrite(led, 255);
46     analogWrite(led2, 255);
```

Рис. 7.8. Редактор кода и монитор вывода данных

Проекты в Tinkercad сохраняются автоматически. Для изменения масштаба отображения компонентов проекта необходимо навести курсор мыши на рабочую область и крутить колесиком мыши вперед или назад для нужного масштаба. Для перемещения схемы нажать и удерживать левую клавишу мыши перемещать курсор на нужное положение в рабочей области.

### **Контрольные вопросы по главе 7**

1. Охарактеризуйте применение контроллеров в решениях IoT.
2. Поясните, что такое датчик и что такое актуатор. В чем различие между этими устройствами?
3. Как выглядит схема типового решение IoT?
4. Какие технологии подключения «вещей» вы знаете? В чем основное различие между стандартами подключения?
5. Приведите примеры современных наиболее распространенных решений IoT.
6. Охарактеризуйте устройство современных контроллеров IoT.
7. Опишите принципы работы интерфейса I2C. Какие стандартные скорости передачи данных он поддерживает и за чет чего реализуется определенная скорость передачи данных?
8. Как подключить два контролера для взаимодействия по интерфейсу I2C?
9. С помощью каких языков программирования можно программировать современные контроллеры IoT?
10. Расскажите о программе для ведущей платы контроллера.
11. Расскажите о программе для ведомой платы контроллера.

## 8 МОДЕЛИРОВАНИЕ IOT В ПРОГРАММЕ CAPCARBON И ANYLOGIC

CupCarbon – это симулятор беспроводной сенсорной сети «Умный город» и Интернета вещей (SCI-WSN). Его целью является разработка, визуализация, отладка и валидация распределенных алгоритмов мониторинга, сбора экологических данных и т.д., а также создание экологических сценариев, таких как пожары, газ, мобильные телефоны, и в целом в рамках образовательных и научных проектов. Это может не только помочь наглядно объяснить основные концепции сенсорных сетей и то, как они работают; это также может помочь ученым протестировать их беспроводные топологии, протоколы и т.д.

CupCarbon предлагает две среды моделирования. Первая среда моделирования позволяет разрабатывать сценарии мобильности и генерировать природные явления, такие как пожары и газообразование, а также имитировать мобильные устройства, такие как транспортные средства и летающие объекты (например, беспилотные летательные аппараты, насекомых и т.д.). Вторая среда моделирования представляет собой дискретное событийное моделирование беспроводных сенсорных сетей, которое учитывает сценарий, разработанный на основе первой среды [16].

Сети могут быть спроектированы и прототипированы с помощью эргономичного и простого в использовании интерфейса с использованием платформы OpenStreetMap (OSM) для развертывания датчиков непосредственно на карте. Он включает в себя скрипт под названием Sensscript, который позволяет программировать и настраивать каждый сенсорный узел индивидуально. С помощью

этого скрипта также можно генерировать коды для аппаратных платформ, таких как Arduino/XBee. Эта часть не полностью реализована в CupCarbon, она позволяет генерировать коды для простых сетей и алгоритмов. На рис. 8.1 показан интерфейс программы CupCarbon.

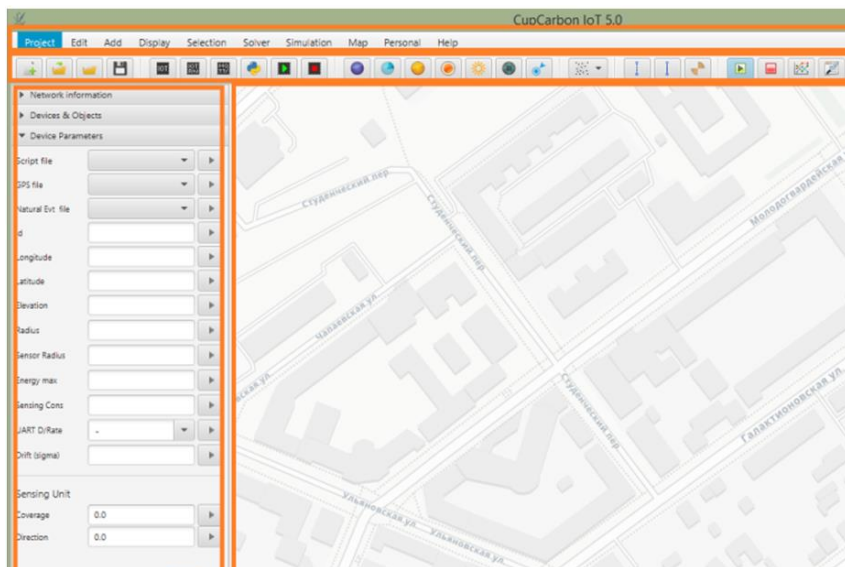


Рис. 8.1. Интерфейс программы CupCarbon

Моделирование CupCarbon основано на прикладном уровне узлов. Это делает его реальным дополнением к существующим симуляторам. Он не имитирует все уровни протокола из-за сложной природы городских сетей, которым необходимо включать другую сложную и ресурсоемкую информацию, такую как здания, дороги, мобильность, сигналы и т.д.

CupCarbon предлагает возможность моделировать алгоритмы и сценарии в несколько этапов. Например, может быть этап для определения представляющих интерес узлов, за которым следует



этап, связанный с характером связи между этими узлами для выполнения заданной задачи, такой как обнаружение события, и, наконец, этап, описывающий характер маршрутизации к базовой станции в случае, если это обнаружено событие. Разные версии CupCarbon позволяют динамически настраивать узлы, чтобы иметь возможность разделять узлы на отдельные сети или присоединяться к разным сетям, задача, которая основана на сетевых адресах и канале. Потребление энергии может быть рассчитано и отображено в зависимости от моделируемого времени. Это позволяет уточнить структуру, осуществимость и реалистичную реализацию сети до ее реального развертывания. Видимость распространения и модели помех интегрированы и включают в себя протоколы ZigBee, LoRa и Wi-Fi.

CupCarbon представляет собой основное ядро проекта ANR PERSEPTEUR, целью которого является разработка алгоритмов для точного моделирования распространения и интерференции сигналов в трехмерной городской среде.

AnyLogic – это инструмент многометодного моделирования, разработанный компанией AnyLogic (ранее XJ Technologies). Он поддерживает методологии моделирования на основе агентов, дискретных событий и системной динамики. AnyLogic – это кроссплатформенное программное обеспечение для моделирования, потому что оно работает в Windows, macOS и Linux.

Используется AnyLogic для моделирования: рынков и конкуренции, здравоохранения, производства, цепочек поставок и логистики, розничной торговли, бизнес-процессов, социальной и экосистемной динамики, защиты, управления проектами и активами, динамики пешеходов и дорожного движения, информационных технологий, аэрокосмической отрасли, а также для моделирования работы «умных» вещей в сфере IoT.

Модели AnyLogic могут быть основаны на любой из основных парадигм имитационного моделирования: дискретное событие или

процессно-ориентированное (DE), системная динамика (SD) и на основе агентов (AB).

Системная динамика и дискретное событие представляют собой традиционные подходы к моделированию, а на основе агентов – более новый. Технически подход системной динамики имеет дело в основном с непрерывными процессами, тогда как модели на основе дискретных событий и агентов работают в основном в дискретном времени, то есть переходят от одного события к другому.

Поскольку Интернет вещей с каждым годом все активнее входит в нашу жизнь и является ключевым трендом развития мировой экономики на ближайшие десятилетия. Отличным примером использования технологии Интернет вещей является Умный дом, как было указано в предыдущих главах данного учебного пособия. Система Умный дом, как правило, включает два уровня: комнатный и общедомовой (общеквартирный). Элементами комнатного уровня являются датчики различных физических параметров, таких как температура, влажность, освещенность и др., устройства управления электропитанием, освещением, отоплением, вентиляцией и др., а также локальные концентраторы (ЛК), пульта управления и комнатные мониторы. Элементами общедомового (общеквартирного) уровня являются общедомовой (общеквартирный) контроллер (ДК), общедомовой (общеквартирный) монитор, персональные компьютеры (ПК), Webсервер, а также различные мобильные устройства. При этом возможно совмещение функций различных устройств в одном устройстве.

Сюда же можно отнести привычные, но поумневшие устройства бытовой электроники, такие как телевизоры, холодильники, системы видеонаблюдения т.д. В программе AnyLogic можно рассмотреть техническую реализацию локального концентратора для системы Умный дом, совмещающего функции комнатного монитора. Она включает в себя одноплатный компьютер на базе платы Arduino Mega для сбора, обработки и передачи данных с датчиков

и на устройства управления, матричную клавиатуру (4x3) для ввода команд и двухстрочный LCD-дисплей для вывода данных.

Различные устройства могут подключаться к ЛК по проводам и с помощью беспроводных сетей ZigBee и Bluetooth. ЛК могут обмениваться данными с подключенными к ним устройствами различными способами. Такие устройства как датчики температуры, влажности, освещенности и др. могут опрашиваться ЛК периодически, с одинаковыми интервалами времени. Так как различные физические параметры могут иметь разную динамику изменения во времени, то и частота опроса разных датчиков, в общем случае должна быть различной. Другие устройства, такие как датчики движения, охранно-пожарной сигнализации, обнаружения протечки воды и др. могут посылать данные ЛК асинхронного, т.е. в произвольные моменты времени

При большом числе устройств, подключенных к ЛК и при высокой интенсивности обмена данными их с ЛК может возникнуть ситуация, когда ЛК не сможет вовремя обработать все поступающие запросы. Поэтому возникают задача определения пропускной способности ЛК или связанная с ней задача определения общего числа ЛК. Данная задача может быть рассмотрена как задача теории массового обслуживания [3]. В настоящее время для решения таких задач широко используются методы имитационного моделирования с использованием специализированных программных пакетов.

С этой целью можно использовать компьютерную модель ЛК в системе AnyLogic (рис. 8.2). Система AnyLogic это среда компьютерного моделирования общего назначения, охватывающая основные направления моделирования: дискретно-событийное, системной динамики, агентное [4]. В имитационной модели можно задавать параметры сети передачи данных, такие как количество источников сообщений, интенсивность генерации сообщений по определенному закону, длина сообщений каждой категории и скорость передачи сообщений.

Также при моделировании можно задавать параметры самого ЛК, такие как емкость буфера и скорость обработки сообщений определенной категории. Модель позволяет учитывать приоритеты обслуживания определенных сообщений. Например, сообщения с датчиков охранно-пожарной сигнализации должны обрабатываться как можно быстрее, а потеря сообщений с этих датчиков не допустима. В этом случае необходимо установить более высокие приоритет для данной категории сообщений.

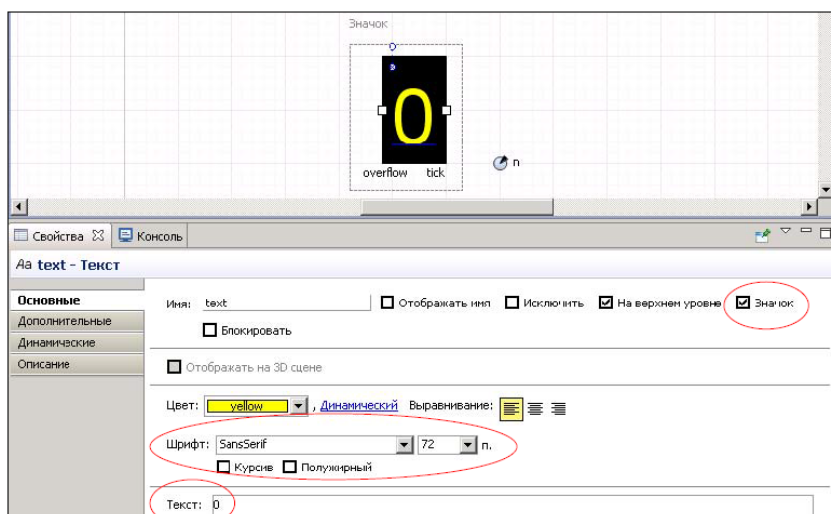


Рис. 8.2 AnyLogic

Для наглядности на экран выводятся графики емкости буфера ЛК, его пропускная способность и количество сообщений по разным категориям. В результате моделирования можно получить информацию о пропускной способности концентратора в целом и по каждой отдельной категории сообщений. По этим данным можно определить справляется ли концентратор с возложенной на него нагрузкой. Следовательно, имитационная модель позволяет оценить пропускную

способность ЛК при заданных параметрах ЛК и параметрах сети передачи данных. Это дает возможность оптимизировать такие параметры, как периодичность опроса датчиков и определить необходимое число ЛК в домашней сети.

Все эти программы для моделирования можно использовать для исследования функционирования Интернета вещей в целом.

### **Контрольные вопросы по главе 8**

1. Что представляет собой программа CupCarbon?
2. Что представляет собой программа AnyLogic?
3. Какая программа и для чего именно предназначена?
4. Укажите разницу в данных программах.
5. Какие параметры составляющих IoT можем исследовать в данных программах?
6. Укажите преимущества программы CupCarbon.
7. Укажите недостатки программы CupCarbon.
8. Укажите преимущества программы AnyLogic.
9. Укажите недостатки программы AnyLogic.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Росляков, А.В. Интернет вещей: учебное пособие. / А.В. Росляков, С.В. Ваяшин, А.Ю. Гребешков. – Самара. 2015. – 285 с.
2. Алгулиев, Р. Интернет вещей / Р. Алгулиев // Информационное общество. – 2013. – № 3. – С. 42–48.
3. Кучерявый, А. Интернет вещей как новая концепция развития сетей связи / А. Кучерявый // Информационные технологии и коммуникации: электрон. науч. журн. – 2014. – № 3. – С. 7–29.
4. Лукьянова, Н. Интернет вещей: семиотическая конвергенция естественного и искусственного в коммуникациях / Н. Лукьянова // Информационное общество. – 2014. – № 3. – С. 4–9.
5. Бутенко, В.В. IoT – новая точка развития ИКТ и средство кардинального повышения адаптивных возможностей человека при взаимодействии с ухудшающейся антропогенной средой / В.В. Бутенко // Труды 54-й научной конференции МФТИ. Радиотехника и кибернетика, 2011 г. – Москва: МФТИ, 2011. С. 24–26.
6. Кучерявый, А.Е. Самоорганизующиеся сети / А.Е. Кучерявый – Санкт-Петербург: Любавич, 2011. – 267 с.
7. Кучерявый, А.Е. Интернет Вещей / А.Е. Кучерявый // Электросвязь. – 2013. – № 1. С. 34–38.
8. Кучерявый А.Е. Интернет Вещей // Электросвязь. – 2013. – № 1. – С. 21–24.
9. Кучерявый, А.Е. Самоорганизующиеся сети / А.Е. Кучерявый, Е.А. Кучерявый, А.В. Прокопьев. – Санкт-Петербург: Любавич. 2011. – 312 с.
10. Москаленко, Т.А. Обзор протоколов Интернета вещей / Т.А. Москаленко, Р.В. Киричек, А.Е. Кучерявый // Информационные технологии и телекоммуникации. – 2017. – Т. 5. № 2.

11. Лучшее программное обеспечение и решение для IoT [сайт]:  
URL: <https://ciksiti.com/ru/chapters/6191-the-20-innovative-and-best-iot-software-to-boost-your-iot-po>, (дата обращения: 22.07.2023).
12. Бэйкер, Б. Что нужно знать цифровому разработчику об аналоговой электронике / Б. Бэйкер // Додэка XXI. – 2011. – 360 с.
13. Гололобов, В. Arduino для старших курсов / В. Гололобов. – Москва, 2012. – 211 с.
14. Соммер, У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino / У. Соммер. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2012. – 256 с.
15. Кравченко, А.В. 10 практических устройств на AVR-микроконтроллерах / А.В. Кравченко. – Самара: Ас-Гард, 2014. – 340 с.
16. Гоноровский, И.С. Ардуино и программирования: учебник для вузов / И.С. Гоноровский. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Программирование, 2012. – 512 с.
17. Коршуна, И.В. Современные мощные микроконтроллеры: Архитектура, средства проектирования, примеры применения, ресурсы сети Интернет / И.В. Коршуна. – Москва: Аким, 2009. – 272 с.

Учебное издание

*Глушак Елена Владимировна,  
Куприянов Александр Викторович*

## **ВВЕДЕНИЕ В ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ**

*Учебное пособие*

Редакционно-издательская обработка  
издательства Самарского университета

Подписано в печать 21.12.2023. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печ. л. 6,5.

Тираж 120 экз. (1-й з-д 1-27). Заказ № . Арт. – 35(P2УП)/2023.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»  
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

---

Издательство Самарского университета.  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.