

DOI 10.12709/mon.1.g1

ГЛАВА 1. ЦИФРОВИЗАЦИЯ И УМНЫЕ ГОРОДА

Зоран Чекеревац¹

Людмила Пригода²

Миланка Богавац³

1. Введение
- 1.1 Умные города - умная жизнь
- 1.2 Цифровая трансформация городов: 10 шагов к умному городу
- 2 Теоретические основы IoT
- 2.1 Введение в IoT
- 2.2 Умные устройства
- 2.3 Сенсорные сети
- 2.4 Сетевые протоколы в IoT
- 2.5 M2M связь
- 2.6 Программно-определяемые сети
- 2.7 Облачные вычисления и IoT
- 2.8 Управление цифровыми удостоверениями в облаке
- 2.9 Большие данные и IoT
3. Заключение
4. Список источников

¹ Зоран Чекеревац, профессор, д-р Факультет бизнеса и права, Университет "МБ", Белград, Сербия. <https://orcid.org/0000-0003-2972-2472>

² Людмила Пригода, профессор, д-р, ФГБОУ ВО „МГТУ“ Майкоп, Россия. <https://orcid.org/0000-0002-4762-3892>

³ Миланка Богавац, Ph.D., доцент Факультет бизнеса и права, Университет "МБ", Белград, Сербия. <https://orcid.org/0000-0003-4252-6919>

1 ВВЕДЕНИЕ

Прежде чем рассматривать умные города, следует помнить, что их появление и быстрое развитие были вызваны миграцией населения в крупные города и богатые государства. Миграция населения всегда существовала и будет существовать. И хорошо, если миграция невелика и связана с личными желаниями людей. Это не хорошо, когда это массово и вследствие борьбы за поддержание простого существования. В настоящее время мы являемся свидетелями массовой миграции и заметного роста населения в крупных городах в результате надежды приезжих на то, что они будут жить лучше в большом городе, чем в месте их нынешней жизни. Вместо обеспечения лучшей среды обитания в месте, где люди рождаются, общество, включая международное сообщество, почти ничего не делает, и люди переезжают в (большие) города.

С ростом притока населения жить в городах становится все труднее во всех отношениях. От организации снабжения, жизни и работы до освобождения городов от побочных продуктов живущего в них населения. Каждая область индивидуально нуждается в доработке, и она улучшается. Поскольку улучшение одной области жизни обычно влияет на другую, а ускоренное развитие одной области не означает общего

улучшения, появилась концепция так называемых «умных» городов. Они должны обеспечить в целом комфортную, экономичную, устойчивую и безопасную жизнь для своих жителей.

Городское население мира быстро выросло с 751 миллиона в 1950 году до 4,2 миллиарда в 2018 году. Азия, несмотря на относительно низкий уровень урбанизации, является домом для 54% городского населения мира, за ней следуют Европа и Африка с 13% каждый. Сегодня 55% населения мира живет в городских районах, и эта доля, как ожидается, возрастет до 68% к 2050 году. Прогнозы показывают, что урбанизация, постепенный сдвиг в проживании человеческого населения из сельских районов в городские в сочетании с общим рост населения мира может добавить еще 2,5 миллиарда человек к городским районам к 2050 году, причем почти 90% этого роста будет происходить в Азии и Африке, согласно данным ООН⁴.

Сегодня наиболее урбанизированные регионы включают Северную Америку (82 процента населения проживало в городских районах в 2018 году), Латинскую Америку и страны Карибского бассейна (81 процент), Европу (74 процента) и Океанию (68 процентов). Уровень урбанизации в Азии сейчас приближается к 50%. В

⁴ UN. (16 05 2018 г.). 68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN. Получено из United Nations Department of Economic and Social Affairs:

<https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>

отличие от этого, Африка остается преимущественно сельской, и только 43% ее населения проживает в городских районах.

По прогнозам, к 2030 году в мире будет 43 мегаполиса с населением более 10 миллионов человек, большинство из которых находятся в развивающихся регионах. Однако некоторые из наиболее быстро растущих городских агломераций - это города с населением менее 1 миллиона человек, многие из которых расположены в Азии и Африке. В то время как каждый восьмой человек живет в 33 мегаполисах по всему миру, около половины городских жителей мира проживают в гораздо более мелких поселениях с населением менее 500 000 человек.

Для обеспечения того, чтобы преимущества урбанизации были в полной мере распределены и инклюзивны, политика по управлению ростом городов должна обеспечивать доступ к инфраструктуре и социальным услугам для всех, ориентируясь на потребности городской бедноты и других уязвимых групп в жилье, образовании, здравоохранении, достойный труд и безопасные условия.⁵

Существует ряд определений «умного города», но, по общему мнению, «умные» города используют датчики IoT, актюаторы (исполнительные механизмы) и технологии для

соединения компонентов по всему городу. Это соединяет каждый слой города, от воздуха до улицы и метро. Когда можно извлекать данные из всего, что связано, и использовать их для улучшения жизни граждан и улучшения коммуникации между гражданами и правительством, город становится умным городом⁶.

Учитывая текущую тенденцию группирования населения в крупных городах и возможности трудоустройства, которые предлагают крупные города, трудно ожидать, что в большей степени появятся совершенно новые умные города. Более реалистично ожидать, что части современных городов будут преобразованы в соответствии с идеей «умных городов» и что технологии «умных» городов будут затем перенесены в другие части этих городов. Обычно следует ожидать, что предшественники умных городов появятся в будущих вновь построенных поселениях, но для того, чтобы полностью реализовать идею умных городов, необходимо поддерживать ее во всем обществе и во всех отраслях. Следует ожидать, что основной вклад в идею даст IoT, LPWAN⁷ и сети 5G⁸. Без ИТ-поддержки идея «умного города» не была бы реализована. Здесь не следует упускать из виду тот факт, что основными носителями по-прежнему

⁵ Там же

⁶ Maddox, T. (16 07 2018 г.). Smart cities: A cheat sheet. Получено из TechRepublic: <https://www.techrepublic.com/article/smart-cities-the-smart-persons-guide/>

⁷ LPWAN (Low-Power Wide-Area-Network, рус. маломощная глобальная сеть)

⁸ Сети 5G (сети пятого поколения)

будут люди с их творчеством и знаниями.

Мы не будем здесь обсуждать потенциальную вредность новых технологий для здоровья, поскольку вряд ли какое-либо эпохальное изобретение осталось

неиспользованным. Мы будем уделять основное внимание техническим, технологическим и социальным аспектам применения IoT в «умных» городах, надеясь, что живые организмы смогут развиваться в соответствии с новыми условиями жизни.

1.1 Умные города - умная жизнь

Помимо прогноза, что в 2050 году две трети населения мира будут проживать в городах, следует ожидать, что города будут потреблять более 70% энергии и выбрасывать столько же парниковых газов. По мере роста населения города будут расти спрос на услуги, а также на ресурсы. Этот спрос создает нагрузку на энергию, воду, отходы, мобильность и любые другие услуги, которые были бы необходимы для процветания и устойчивости города.⁹ Чтобы решить эти проблемы, необходимо предоставить помощь инновационных технологий и оцифровки. Умные города станут местом, где традиционные сети и услуги будут более эффективными благодаря использованию цифровых и телекоммуникационных технологий на благо его жителей и бизнеса.

Умный город выходит за рамки использования информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) для лучшего использования ресурсов и сокращения выбросов. Это означает

стремление к устойчивому развитию благодаря более умным городским транспортным сетям, усовершенствованному водоснабжению и средствам для удаления отходов, а также более эффективным способам освещения и обогрева зданий. Это также означает более интерактивную и отзывчивую администрацию города, более безопасные общественные пространства и удовлетворение потребностей стареющего населения.¹⁰

Европейское инновационное партнерство по умным городам и сообществам, Партнерство по цифровому переходу в рамках городской повестки дня для ЕС, проекты H2020, инициатива по вызову цифровых городов вместе с работой, проделанной в рамках "Green Digital Charter"¹¹ способствовали решениям, связанным с городскими проблемами. Однако эти решения остаются фрагментированными, и в результате их влияние остается ограниченным. Таким

⁹ Hartog, E., & et al. (9 12 2019 г.). Smart Cities - Smart Living. Получено из European Commission - Digital Single Market - Policies: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/smart-cities>

¹⁰ Там же

¹¹ Sumner, V., Kontinakis, N., Boni, A. L., & Guri, N. (03 2016 г.). Green Digital Charter for cities and citizens. Получено из Green Digital Charter: <http://www.greendigitalcharter.eu/wp-content/uploads/2016/04/D2.1-Updated-GDC.pdf>

образом, существует потребность в расширении энергоэффективных решений для интеллектуальных городов с нейтральным уровнем выбросов углерода путем интеграции различных рабочих потоков.

Хотя умные города развиваются для удовлетворения потребностей населения, есть те, кто считает, что слишком мало внимания уделяется населению и слишком много технологии, поэтому они предлагают следующий подход к решению проблем:

- Подключение людей для преобразования мест и результатов (умное жилье, умные городские решения, совместное бюджетирование и краудсорсинг),
- Гражданское лидерство - извлечение выгоды от действий по вовлечению граждан для предоставления решений,
- Социальное жилье и переход к низкоуглеродным сообществам,
- Изучение и обмен опытом с мировыми лидерами по вовлечению граждан.¹²

До сих пор в ЕС наилучшие результаты достигнуты в области интеллектуальных сетей, энергоэффективности и цифровизации водного сектора.

¹² EIP-SCC. (2019). Citizen Focus - Description. Получено из eu-smartcities: <https://eu-smartcities.eu/clusters/3/description>

¹³ EC. (19 03 2018 г.). Free Wi-Fi for Europeans. Получено из WiFi4EU: <https://audiovisual.ec.europa.eu/en/video/I-152883>

¹⁴ EC. (04 07 2019 г.). Commission launches work on major research and innovation missions for cancer, climate, oceans and soil.

Инициатива WiFi4EU¹³ была запущена для решения возможных проблем с подключением в деревнях или отдаленных районах и позволила некоторым сообществам воспользоваться возможностями, предоставляемыми цифровым преобразованием, предлагая муниципалитетам ваучеры для установки точек доступа Wi-Fi в общественных местах.

В рамках недавно предложенной программы Horizon Europe, Комиссия инициировала миссию по «Климатически нейтральным и умным городам»¹⁴, в рамках которой поддержка будет состоять в том, чтобы помочь городам стать более устойчивыми и умными благодаря расширению прав и возможностей граждан в области цифровых социальных инноваций, а также в разработке политики и объединении лучших практик с компонентами технологий (крупномасштабные, трансграничные, стандартизированные решения и цифровая инфраструктура).

Предложение Европейской комиссии по программе «Цифровая Европа»¹⁵ включает в свою деятельность

Получено из European Commission: https://ec.europa.eu/info/news/commission-launches-work-major-research-and-innovation-missions-cancer-climate-oceans-and-soil-2019-jul-04_en

¹⁵ EC. (19 03 2018 г.). Free Wi-Fi for Europeans. Получено из WiFi4EU: <https://audiovisual.ec.europa.eu/en/video/I-152883>

широкомасштабное развертывание совместимых решений для городов и

сообществ, которые будут успешно испытаны в рамках H2020.

1.2 Цифровая трансформация городов: 10 шагов к умному городу

Основываясь на обобщении идей и рекомендаций государственных чиновников, экспертов и частного предпринимательства, Мария Александра Кунья, Эрико Пшейбилович, Хавьера Фернанда Медина Макая и Фернандо Бургос определили 10 шагов к умному городу.¹⁶:

1. Необходимо построить город с точки зрения его особенностей и исторических особенностей, его самобытности.
2. Каждый город должен определить долгосрочный план, который выходит за рамки управления политических партий, с широким участием, с эффективной коммуникацией и с его управлением, основанным на обществе и гражданстве, чтобы обеспечить дальнейшее существование в долгосрочной перспективе.
3. Руководство проектом «умный город» принадлежит муниципальному общественному управлению, глава - мэр.
4. Умный город строится людьми и для людей. Должны быть введены схемы участия граждан, граждан - центр.
5. Работа в наиболее благоприятной правовой базе.
6. Чтобы ускорить развитие и устойчивость проектов, необходимо рассмотреть вопрос об участии частного сектора на основе его знаний, навыков и ресурсов в создании новых устойчивых бизнес-моделей.
7. Горизонтальная интеграция услуг на платформе умного города - это основа, которая позволяет городу быть умным.
8. Технологическая модель должна быть основана на открытой, стандартной и функционально совместимой платформе, чтобы получить больший масштаб, гибкое развитие с меньшими затратами, чтобы избежать зависимости от поставщиков или технических структур и обеспечить полное развитие инновационной экосистемы в умном городе.
9. Сделать доступными открытые данные, которые упрощают подотчетность, мониторинг и контроль, в дополнение к разработке новых услуг компаниями и гражданами, создавая ценность на основе данных.
10. Чтобы преодолеть старые и новые проблемы, план «умного города» должен предусматривать комплексные действия с

¹⁶ Cunha, M. A., Przeybilovicz, E., Macaya, J. F., & Burgos, F. (2016). Smart Cities -

Transformação digital de cidades. Sao Paulo: PGPC.

использованием технологий для решения исторических проблем городов, таких как проблемы безопасности, здравоохранения, образования, санитарии, жилья и социального неравенства; не забывая о новых требованиях к мобильности,

устойчивости и экономическим преобразованиям.

Из этих рекомендаций видно, что практически 8 из 10 шагов находятся в сфере организации, политики и права, и что только восьмой и девятый шаг в основном связаны с технологиями.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИОТ

«Интернет вещей» (Internet of Things - IoT), как система взаимосвязанных вычислительных устройств с ее ускоренной разработкой и распространением, находится в центре внимания пользователей Интернета, особенно пользователей интеллектуальных устройств. Это подтверждается тем фактом, что IoT не ограничивается механическими и цифровыми машинами, но также охватывает другие объекты, животных и даже людей. Общим для них является то, что они имеют уникальные идентификаторы, которые могут передавать данные по сети. Поэтому термин «Интернет всего» сегодня часто используется для IoT в самом широком смысле. Деятельность людей не

обязательна в рамках общения и использования Интернета вещей¹⁷.

Интернет вещей обеспечивает связь подключенных устройств через Интернет. Подключенные устройства имеют встроенный интеллект, который позволяет им отслеживать и анализировать данные и действовать без вмешательства человека. Искусственный интеллект делает эти системы намного более эффективными для многих задач.

На рисунке 1.1. показана визуализация развития Интернета вещей. Такое массовое распространение Интернета вещей способно значительно улучшить качество жизни. Это изменит то, как люди живут, учатся, работают и веселятся.¹⁸.

2.1 Введение в IoT

Короче говоря, «Интернет вещей» - это концепция подключения любого устройства (если оно имеет

переключатель включения/выключения) к Интернету и другим подключенным устройствам.

¹⁷ Čekerevac, Z., Dvorak, Z., Prigoda, L., & Čekerevac, P. (2017). Čovek-u-sredini napadi i Internet stvari. FBIM Transactions, 5(2), 18-28. doi:10.12709/fbim.05.05.02.03

¹⁸ Evans, D. (Apr 2011 г.). The Internet of Things - How the Next Evolution of the Internet

Is Changing Everything. Получено из Cisco - White Paper: http://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf

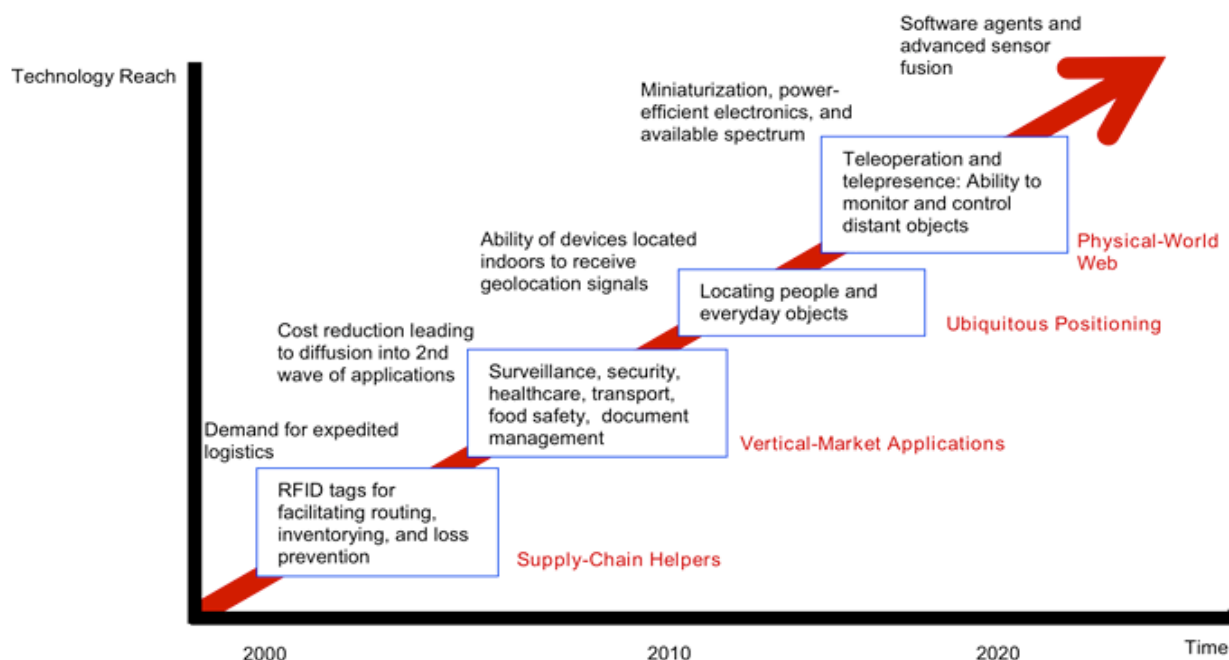


Рис. 1.1 Технологическая дорожная карта: Интернет вещей

Источники: (SRI Consulting Business Intelligence)¹⁹

Интернет вещей представляет собой гигантскую сеть взаимосвязанных вещей и людей - все они собирают и обмениваются данными о том, как они используются, и об окружающей их среде.²⁰

Это включает в себя невероятное количество объектов всех форм и размеров - от интеллектуальных микроволновых печей, которые автоматически готовят пищу в течение необходимого промежутка времени, до автомобилей с автоматическим

управлением, чьи сложные датчики обнаруживают объекты на их пути, и носимых фитнес-устройств, которые измеряют сердцебиение и количество шагов, которые пользователь сделал в течение дня, затем используют эту информацию, чтобы предложить планы упражнений с учетом потребностей пользователя. Есть даже подключенные футбольные мячи, которые могут отслеживать, как далеко и быстро они брошены, и записывать эту статистику через приложение для будущих тренировочных целей²¹.

2.1.1 Что такое интернет интеллектуальных устройств (IoT)?

Как уже упоминалось, Интернет вещей (IoT) является развивающейся областью быстроразвивающихся информаци-

нных технологий. Интеллектуальные устройства интернет-технологии позволяют большему количеству

¹⁹ Mouser. (23 06 2015 г.). The Internet of Things Hits Its Stride. Получено из EEweb: <https://www.eeweb.com/profile/mouser/articles/the-internet-of-things-hits-its-stride>

²⁰ Clark, J. (17 11 2016 г.). What is the Internet of Things? Получено из IBM: <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/what-is-the-iot/>

²¹ Čekerevac, Z., Dvorak, Z., Prigoda, L., & Čekerevac, P. (2017). Čovek-u-sredini napadi i Internet stvari. FBIM Transactions, 5(2), 18-28. doi:10.12709/fbim.05.05.02.03

пользователей, устройств, услуг и приложений подключаться к Интернету. Устройства, подключенные к другим устройствам и приложениям, могут обмениваться данными напрямую и косвенно друг с другом. Конечные пользователи через Интернет и мобильные приложения получают доступ к этим данным, настраивают конфигурации устройств, а также управляют и поддерживают системы IoT. Интернет интеллектуальных устройств может применяться повсеместно: в быту, в городах, на предприятиях, в торговле, логистике, энергетике, сельском хозяйстве, промышленности, образовании, здравоохранении, правительстве и в других областях.²²

Развитие интернет-технологий, протоколов IPv6, LPWAN, LoRa и 5G и новые разработки в области нанотехнологий позволили разработать, изготовить, настроить и подключить к сети многие устройства, оснащенные датчиками и исполнительными устройствами. Эти устройства могут быть доступны и управляться онлайн в режиме реального времени. Устройства, подключенные к Интернету, могут связываться с другими устройствами. Этот тип связи называется M2M-коммуникацией (машина-машина).

Инфраструктура IoT состоит из трех основных компонентов:

- интеллектуальные устройства,
- сетевая инфраструктура для их подключения и

- системы, использующие данные, генерируемые интеллектуальными устройствами.

Упрощенное представление этой структуры приведено на рисунке 1.2.



Рис. 1.2 Основные уровни IoT

Первый и самый низкий уровень IoT - это аппаратные средства состоящая из физических устройств и их соединений. Только подключенные устройства могут обмениваться информацией и учиться на основе опыта. Цель состоит в том, чтобы создавать устройства и системы со встроенными вычислительными функциями и интеллектом для упреждающих рассуждений и поведения.

Инфраструктура, второй уровень IoT, позволяет подключать устройства IoT к беспроводной сети или к другому типу компьютерной сети. Его роль заключается в обеспечении среды для разработки приложений IoT через управления информацией и каналами данных устройств и децентрализованные каналы управления. Визуализация сервис-ориентированной сетевой инфраструктуры IoT показана на рисунке 1.3.

²² Radenković, B., Despotović-Zrakić, M., Bogdanović, Z., Barać, D., Labus, A., &

Bojović, Ž. (2017). Internet inteligentnih uređaja. Beograd: FON.

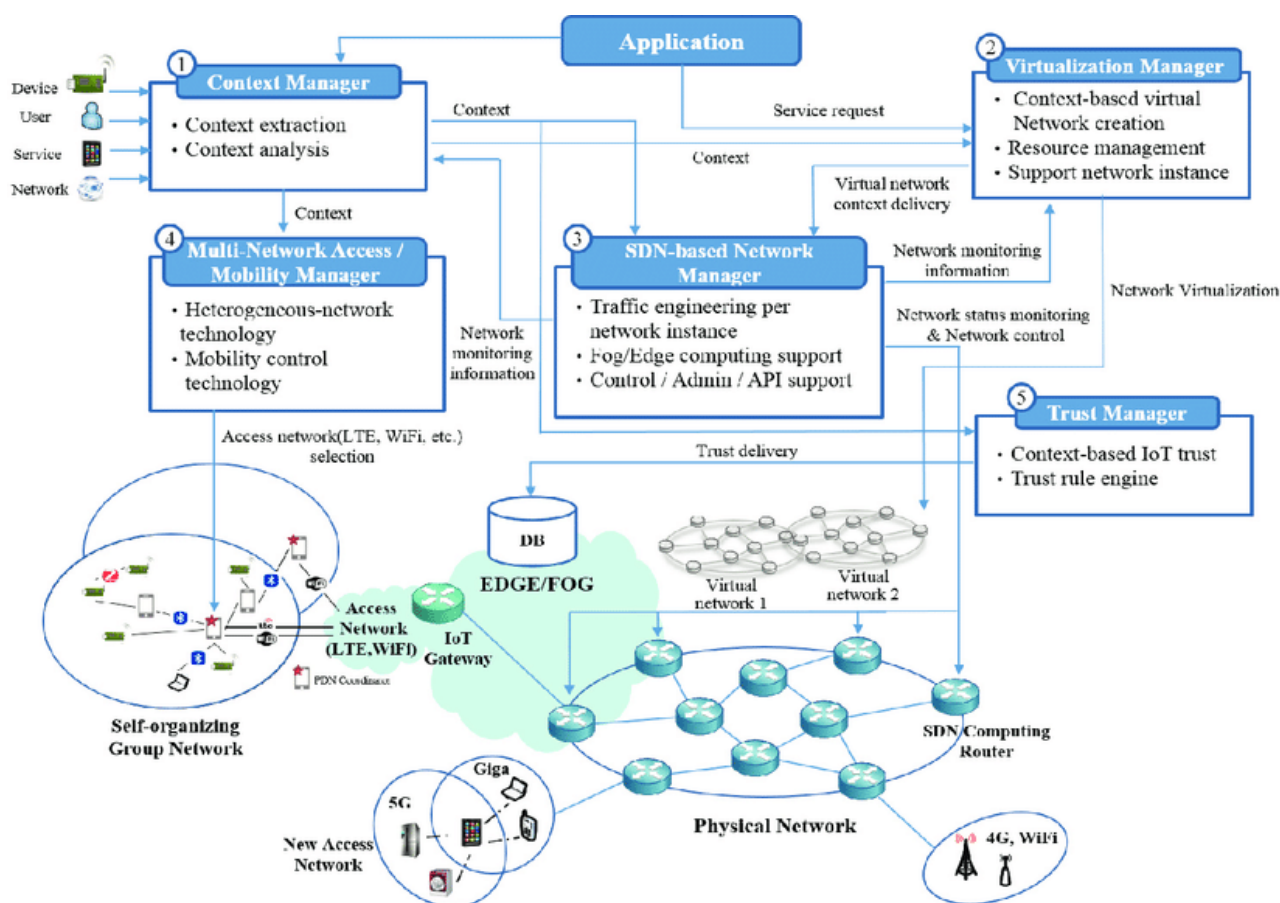


Рис. 1.3 Предлагаемая IoT сервис-ориентированная сетевая инфраструктура²³

Третий и самый высокий уровень IoT создают приложения и сервисы для сбора, обработки и распространения данных об устройствах. Разработка приложений и услуг является

необходимым условием для разработки интеллектуальных сред и значимого применения IoT в различных областях жизни человека²⁴.

2.1.2 Как работает IoT?

Устройства и объекты со встроенными датчиками подключены к платформе Интернет вещей (IoT). Эта платформа объединяет данные с подключенных устройств, применяет аналитику, копает наиболее ценную информацию и делится ею с приложениями, созданными для удовлетворения конкретных

потребностей. Платформа IoT, часто использующая искусственный интеллект (AI), может точно определить, какая информация полезна, а какую можно безопасно игнорировать. Приложение использует полученную информацию для обнаружения шаблонов, выработки рекомендаций и

²³ Chin, W. S., Kim, H.-s., Heo, Y. J., & Jang, J. W. (2015). A Context-based Future Network Infrastructure for IoT Services. *Procedia Computer Science*, 266-270.

²⁴ Radenković, B., Despotović-Zrakić, M., Bogdanović, Z., Barać, D., Labus, A., & Bojović, Ž. (2017). *Internet inteligentnih uređaja*. Beograd: FON.

выявления возможных проблем до их возникновения.

Например, если кто-то владеет бизнесом по производству автомобилей, он может захотеть узнать, какие дополнительные компоненты (например, кожаные сиденья или легкосплавные диски) наиболее популярны. Используя технологию Интернета вещей, он может²⁵:

- Использовать датчики для определения того, какие товары в демонстрационном зале являются наиболее популярными, а где клиенты задерживаются дольше всего;
- Детализировать доступные данные о продажах, чтобы определить, какие компоненты продаются быстрее всего;
- Автоматически сопоставлять данные о продажах с поставками, чтобы популярные товары всегда были на складе.

Информация, полученная с подключенных устройств, позволяет, основываясь на информации в реальном времени, принимать умные решения о том, на какие компоненты делать запасы, и экономить время и деньги.

Благодаря передовой аналитике появляется возможность сделать процессы более эффективными. Умные объекты и системы означают, что можно автоматизировать определенные задачи, особенно когда они повторяются,

обыденные, отнимают много времени или даже опасны. Посмотрим на некоторые примеры, чтобы увидеть, как это выглядит в реальной жизни²⁶

Сценарий № 1: Интернет вещей в чем-то доме

Пусть господин Вася каждый день просыпается в 7 утра, чтобы идти на работу. Его будильник отлично разбудил его. Все в порядке до тех пор, пока что-то пойдет не так, на пример, Васе поезд отменен, и он должен вместо этого ехать на работу на машине. Единственная проблема заключается в том, что ехать по дороге занимает больше времени, и ему нужно было бы вставать в 6:45, чтобы не опоздать. А, если льет дождь, то ему нужно будет ехать медленнее, чем обычно. Подключенный или с поддержкой IoT будильник сбрасывает сам себя, основываясь на всех этих факторах, чтобы обеспечить своевременную работу. Он мог бы узнать, что обычный поезд отменен, рассчитать расстояние в пути и время в пути для альтернативного маршрута до работы, проверить погоду и учесть более медленную скорость движения из-за сильного дождя и вычислить, когда ему нужно разбудить Васю в новых обстоятельствах. Если он очень умный, может даже синхронизироваться с кофеваркой с поддержкой IoT, чтобы убедиться, что утренний кофеин готов к употреблению, когда Вася встанет.

²⁵ Clark, J. (17 11 2016 г.). What is the Internet of Things? Получено из IBM:

<https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/what-is-the-iot/>

²⁶ Там же

Сценарий № 2: Интернет вещей в транспорте

Будучи разбуженным его будильником, Вася теперь хочет ехать на работу. Включается контрольная лампочка двигателя. Вася предпочел бы не идти прямо в гараж, но что, если это что-то срочное? В подключенном автомобиле датчик, который включал контрольную лампочку двигателя, связывается с другими в данном автомобиле. Компонент, называемый

диагностической шиной, собирает данные с этих датчиков и передает их на шлюз в автомобиле, который отправляет наиболее актуальную информацию на платформу производителя. Производитель может использовать данные из автомобиля, чтобы предложить Васе назначить встречу, чтобы починить деталь, отправить ему указания ближайшему дилеру и убедиться, что заказана правильная запасная часть, чтобы была готова для него, когда он появится.

2.2 Умные устройства

Умные или интеллектуальные устройства - это оборудование, инструменты или машины, обладающие компьютерными возможностями. Они могут питаться от электрических сетей, батарей, солнечных батарей и т. д. Их память позволяет хранить данные от датчиков и выполнять операции, для которых запрограммированы устройства. Устройства IoT обладают множеством интерфейсов, таких как интерфейсы ввода / вывода для датчиков и исполнительных механизмов, интерфейсы для подключения к Интернету, интерфейсы для хранения и памяти, а также аудио и видео интерфейсы. Интеллектуальные устройства включают в себя²⁷:

- Датчики для мониторинга ситуации и оповещения об изменениях в окружающей среде.
- Актуаторы, которые на основании обнаруженных изменений в среде выполняют физические действия посредством действий управления.
- Микроконтроллеры (обычно микропроцессорные) со встроенной памятью, часами и оборудованием для подключения к внешним устройствам, таким как датчики, актуаторы и трансиверы для беспроводной передачи данных.
- Микрокомпьютеры с микропроцессором, памятью и устройствами ввода-вывода на одном чипе.

2.2.1 Датчики

Датчик – это устройство, воспринимающее внешние воздействия и реагирующее на них изменением

электрических сигналов. Под внешним воздействием понимается количественная характеристика объекта, его свойство

²⁷ Radenković, B., Despotović-Zrakić, M., Bogdanović, Z., Barać, D., Labus, A., &

Bojović, Ž. (2017). Internet inteligentnih uređaja. Beograd: FON.

или качество, которую необходимо воспринять и преобразовать в электрический сигнал.

Назначение датчиков – преобразование физической величины (электрической или чаще всего неэлектрической) в электрический сигнал, который может быть далее усилен, преобразован при помощи электронных устройств и/или передан по линиям передач. Выходными сигналами датчиков могут быть напряжение, ток или заряд, описываемые такими характеристиками как амплитуда, частота, фаза или цифровым кодом. Набор характеристик, описывающих сигнал, называется

форматом выходного сигнала. Каждый датчик характеризуется набором входных параметров (любой физической природы) и набором выходных параметров²⁸.

Системы классификации датчиков могут быть разнообразными в зависимости от цели проведения классификации. В зависимости от типа физического явления, которое они измеряют, датчики можно разделить на: тепловые, механические, химические, оптические, датчики ионного излучения, акустические и другие типы. На следующем рисунке (1.4) показаны различные типы датчиков:

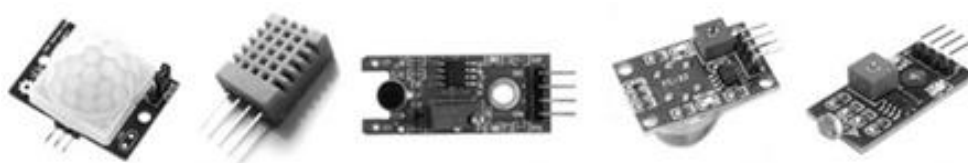


Рис. 1.4. Примеры разных типов датчиков²⁹

Их также можно разделить на: датчики состояния здоровья, датчики движения, датчики умного дома, датчики умного

учебного класса, датчики умного офиса и датчики умного города.

2.2.2 Актуаторы

Актуаторы представляют собой специальные устройства, главной задачей которых является перенос усилия с управляющего или регулирующего механизма на исполнительный. В большинстве случаев - это электромеханический

агрегат, который позволяет выполнять круговые либо линейные перемещения. Благодаря этому можно значительно облегчить выполнение технологических операций, тестирование, в том числе упростить условия быта. Эти устройства

²⁸ Козлова, Е. (2012). Датчики. Классификация, принципы работы, характеристики. Получено из DocPlayer: <https://docplayer.ru/39998255-8-datchiki-klassifikaciya-principy-raboty-harakteristiki.html>

²⁹ Radenković, B., Despotović-Zrakić, M., Bogdanović, Z., Barać, D., Labus, A., & Bojović, Ž. (2017). Internet inteligentnih uređaja. Beograd: FON.

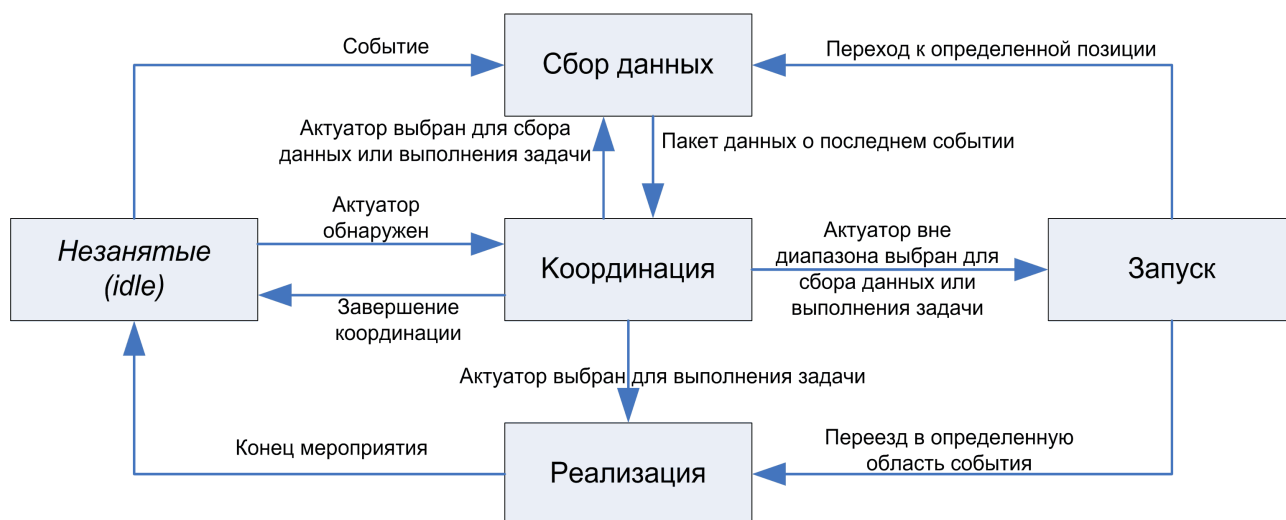
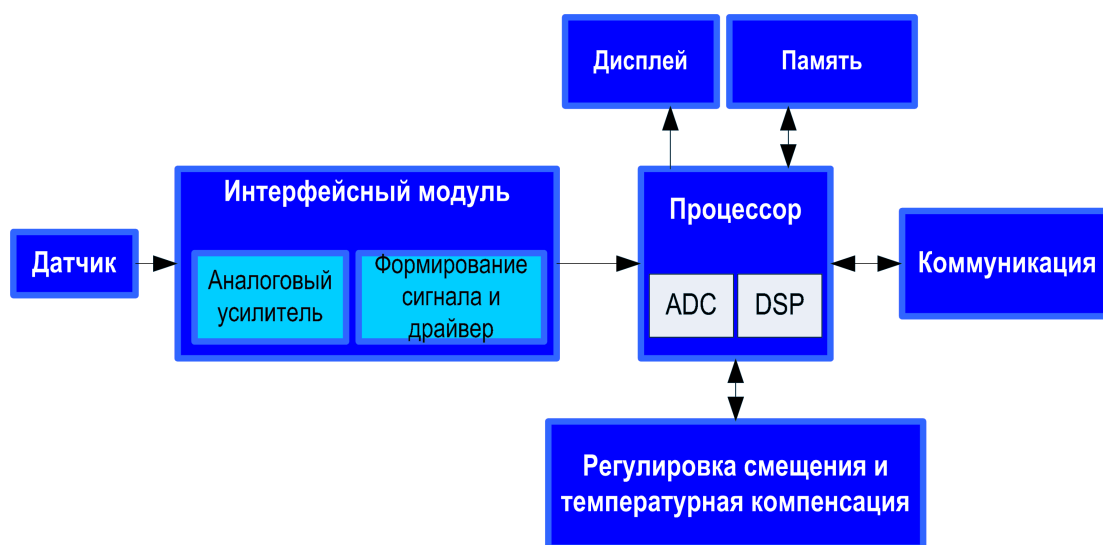


Рис. 1.5. Функции привода в WSN

Рис. 1.6. Архитектура интеллектуальных датчиков³⁰

применяются и для совершения специфических задач, к примеру, для осуществления миссий и проведения исследований в космическом пространстве.³¹

Актюаторы используются в сочетании с датчиками или другими приводами. Они могут быть механическими, электронными или программными. В

сети беспроводных сенсорных исполнительных механизмов (WSAN) актюаторы могут иметь следующие состояния и роли: неактивен, собирает данные, координирует, перемещается, действует. Функции привода в WSN показаны на рисунке 1.5.

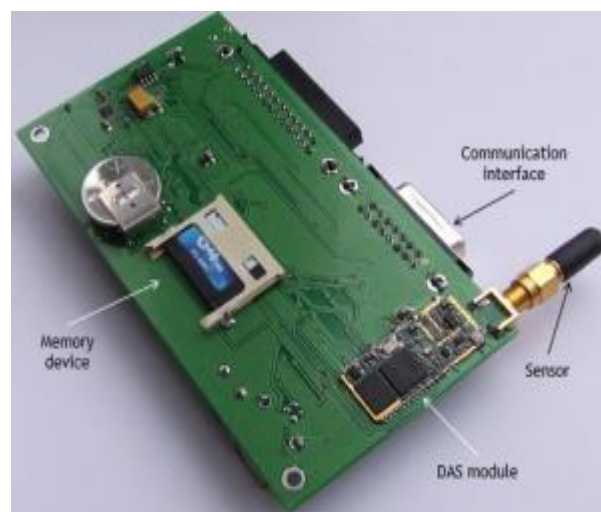
Архитектура интеллектуальных датчиков показана на рисунке 1.6.

³⁰ Electricalvoice. (2020). Smart Sensors | Block Diagram, Architecture & Applications. Получено из Electricalvoice: <https://electricalvoice.com/smart-sensors-block-diagramarchitecture-applications/>

³¹ Электросам. (2020). Актюаторы. Виды и устройство. Работа и применение. Особенности. Получено из Электросам.Ру: <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/ustrojstva/aktuatory/>

Общая архитектура интеллектуального датчика имеет следующие компоненты, а именно:

1. Чувствительный элемент и элемент преобразования.
2. Система сопряжения оборудования / сбора данных
3. Устройства формирования сигнала.
4. Конверсионные устройства.
5. Устройства программирования (Процессор)
6. Интерфейс связи.



2.2.3 Микрокомпьютеры и микроконтроллеры

Микрокомпьютер - это любой маленький компьютер, который состоит из микропроцессора, памяти, а интерфейса ввода-вывода. Он представляет собой полноценный компьютер небольшого масштаба, предназначенный для использования одним человеком одновременно. Действия, которые микрокомпьютер выполняет, зависят от типа полученных данных. Выходной интерфейс отвечает за передачу обработанных данных с микропроцессора на выходные блоки. Микрокомпьютер обычно представляет собой систему на чипе. Для IoT ему нужно поддерживать и WiFi/Bluetooth сети. Современные микрокомпьютеры поддерживают Linux и Windows. Как правило, микрокомпьютеры имеют хорошую вычислительную мощность и

используются в проектах IoT, если необходимо выполнять задачи высокого уровня, включая потоковое видео, сложные информационные системы, мини-серверы и т.д.³².

Куда вписывается микрокомпьютер? Восходящая иерархия общих размеров компьютера выглядит следующим образом³³:

- Встроенные системы, которые закреплены внутри чего-либо и не поддерживают непосредственное взаимодействие с человеком, но тем не менее соответствуют всем остальным критериям микрокомпьютеров;
- Микрокомпьютеры;
- Рабочие станции, более мощный персональный компьютер для специальных приложений;

³² Senior. (21 10 2019 г.). Современные IoT контроллеры и микрокомпьютеры. Получено из Senior: <https://senior.ua/articles/sovremennye-iot-kontrollery-i-mikrokompyutery>

³³ Rouse, M. (12 2018 г.). microcomputer. Получено из IoT Agenda: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/microcomputer>

- Миникомпьютеры, теперь называемые серверами среднего уровня;
- Мэйнфреймы, которые производители обычно называют большими серверами;
- Суперкомпьютеры, крупные серверы, иногда включающие системы компьютеров, использующие параллельную обработку;
- Система параллельной обработки, система взаимосвязанных компьютеров, которые работают над одним и тем же приложением вместе, разделяя задачи, которые могут выполняться одновременно.

Один из самых известных и часто используемых микрокомпьютеров - Raspberry Pi в версиях 3 и 4, и есть Odroid C2, Asus ThinkerBoard S, NVIDIA Jetson Nano...

Микроконтроллер - это интегральная схема (ИС), предназначенная для управления конкретной операцией во встроенной системе. Практически, это микропроцессор со встроенной памятью, тактовым генератором, часами и оборудованием для подключения к внешним устройствам, таким как датчики, исполнительные механизмы (актюаторы) и носители данных. (Рис. 1.7)

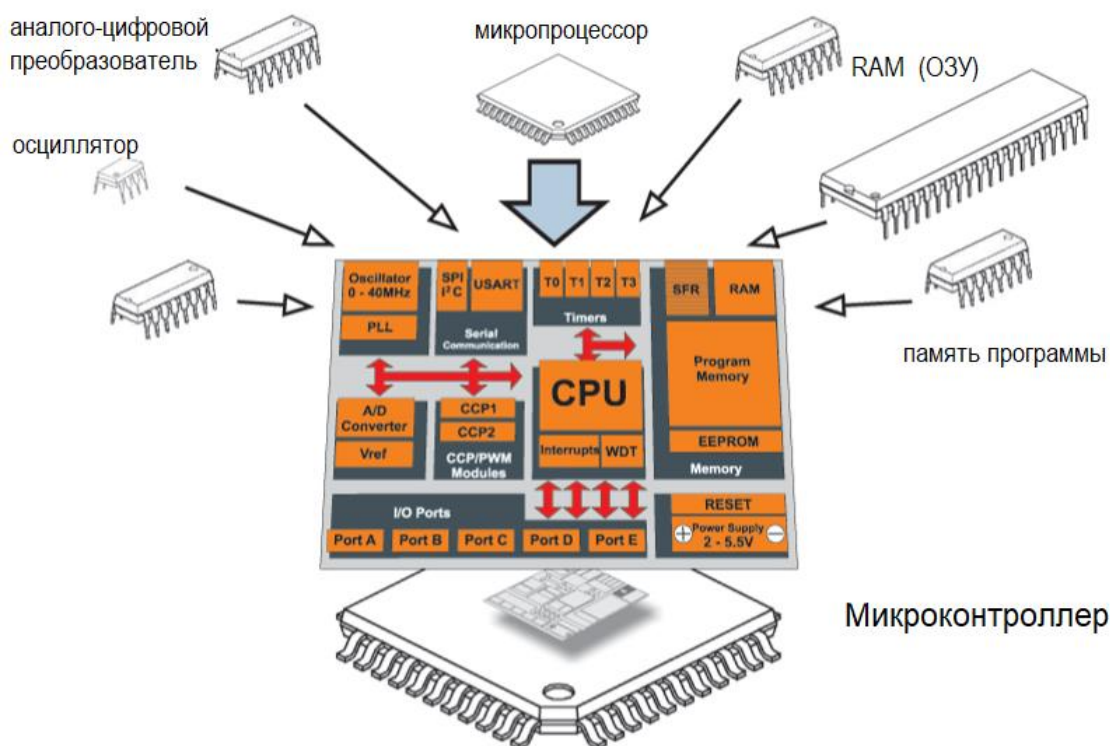


Рис. 1.7. Пример организации одного микроконтроллера³⁴

Микроконтроллеры, эти одиночные микрокомпьютеры, имеют следующие типы памяти: ПЗУ (постоянное

запоминающее устройство), ОЗУ (оперативное запоминающее устройство) и энергонезависимое

³⁴ ЕТФ. (2020). Микроконтроллеры. Получено из Электротехники факультет - Катедра за электронику:

<http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oo1ue/predavanja/P6.pdf>

(постоянное) запоминающее устройство для хранения программ. Наиболее распространенным типом микроконтроллера является микропроцессор.

В отличие от микропроцессора, который предназначен для использования в

персональном компьютере, микроконтроллер предназначен для установки в различные устройства и системы, где он имеет определенное назначение, поэтому эти «маленькие компьютеры» также называются выделенными (встроенными) компьютерами.

2.2.4 Операционные системы для умных устройств

Операционная система является основной программой IoT-проектов. Современная операционная система IoT использует технологию облачных вычислений для управления устройствами IoT в любой точке мира. Благодаря небольшому объему памяти и более высокой эффективности каждая представленная ниже операционная система может удовлетворить требования пользователя³⁵.

Contiki. Разработанная в 2002 году, Contiki - это операционная система IoT с открытым исходным кодом, особенно популярная для микроконтроллеров с низким энергопотреблением и других устройств IoT, которые эффективно работают с использованием интернет-протокола IPv6 и IPv4. Эти операционные системы поддерживают беспроводной стандарт CoAP, 6lowpan, RPL. В основном эта IoT OS очень подходит для маломощных интернет-соединений. Это первая операционная система, поддерживающая IP-связь с использованием стекового протокола TCP/IP uIP. Она была объединена с uIPv6, самым маленьким стеком IPv6 в

мире, а реализована на языке программирования C, обеспечивая полное соединение IPv4 и IPv6 через протокол стека uIP и uIPv6. Хотя существует множество похожих операционных систем, Contiki отличается от конкурентов сложностью и гибкостью, которые она предлагает разработчикам. Он обеспечивает функциональность для управления программами, процессами, ресурсами, памятью и связью, а для запуска ОС Contiki требуется всего несколько килобайт. Приложение позволяет эффективно использовать оборудование с одновременной стандартизированной беспроводной связью с низким энергопотреблением для различных аппаратных платформ.

Основные характеристики Contiki:

- Возможность многозадачности содержит встроенный пакет интернет-протоколов.
- Для работы этой операционной системы минимум 2 КБ ОЗУ и 30 КБ ПЗУ. Полная система с графическим интерфейсом пользователя требует

³⁵ Chowdhury, R. (2020). Top 15 Best IoT Operating System For Your IoT Devices in 2020. Получено из Ubuntu pit:

<https://www.ubuntupit.com/best-iot-operating-system-for-your-iot-devices/>

около 30 килобайт оперативной памяти.

- Основным языком этой операционной системы является язык Си. Перед развертыванием продуктов IoT в реальном времени симулятор Sooja тестирует каждый IoT продукт.
- Существуют как коммерческие, так и некоммерческие цели для использования Contiki.
- Модель программирования Contiki использует Протопоток программирование с эффективным использованием памяти.
- Управляется аппаратной платформой, например, TI MSP430x, Atmel AVR, Atmel Atmega128rfa1.

Преимущества

- Contiki-NG полностью поддерживает стандарты IPv6 и IPv4, а также 6lowpan, RPL и CoAP.
- Ti Contiki-NG работает на ряде беспроводных устройств с низким энергопотреблением, многие из которых можно приобрести через Интернет
- Ti Contiki-NG - это программное обеспечение с открытым исходным кодом - его можно использовать как в коммерческих, так и в некоммерческих целях.
- Имеется большое сообщество разработчиков, которые могут помочь решить возможные технические проблемы.

Недостатки

- Ti Contiki-NG - это ОС, основанная на событиях, то есть она не использует алгоритм планирования.
- Ti Contiki-NG частично поддерживает разработку приложений в реальном времени³⁶.

Riot - это одна из бесплатных операционных систем IoT с открытым исходным кодом, созданная для услуг IoT. У Riot есть огромное сообщество разработчиков, и она была выпущена по лицензии GNU Lesser General Public License. По этим двум причинам Riot называют Linux IoT мира. Академики, любители и различные компании вносят свой вклад в разработку Riot Operating System. RIOT OS требует ~1,5 КБ ОЗУ и ~5 КБ ПЗУ. RIOT поддерживает C и C++, многопоточность, MCU без MMU, модульность и приложения реального времени.

Основные характеристики Riot:

- При малой потребляемой мощности Riot построен и поддерживает C и C++, многопоточность, MCU без MMU, модульность и приложения реального времени.
- Эта IoT-ОС с открытым исходным кодом поддерживает библиотеки многопоточности и SSL / TLS, например, wolfSSL.
- Процессор Riot является 8-битным, 16-битным и 32-битным.
- Порт этой операционной системы позволяет работать как процесс Linux или macOS.

³⁶ Cekerevac, Z., Dvorak, Z., & Pecnik, T. (2020, July 15). Top seven IoT operating systems in mid-2020. (Z. Cekerevac, Ed.)

MEST Journal, 8(2), 47-68.
doi:10.12709/mest.08.08.02.06

- Предоставляет контент-ориентированные сетевую работу и сетевые протоколы, такие как TCP, UDP и CoAP.

Преимущества

- Он полностью поддерживает стандарт IPv6, а также 6lowpan, RPL, UDP, CoAP и CBOR.
- Включает статическое и динамическое распределение памяти.
- Он надежен и работает на ряде беспроводных устройств с низким энергопотреблением.
- RIOT - это программное обеспечение с открытым исходным кодом - его можно использовать как в коммерческих, так и в некоммерческих целях.
- Это позволяет планировать действия на длительный период времени.
- Он поддерживается большим сообществом разработчиков, которые могут помочь решить конкретные проблемы.³⁷

Недостатки

- RIOT иногда требует повышенного потребления памяти, но все еще находится в доступных пределах IoT-устройств
- Надо немного дополнительно поработать над сервисом, потому что он реализуется «с нуля».³⁸

TinyOS. Это операционная система с открытым исходным кодом для интеллектуальных устройств и сенсорных сетей. Она позволяет реализовать большое количество сетей и механизмов маршрутизации.

Существует обновление стека uIP для TinyOS, и более новые версии TinyOS имеют базовую поддержку IPv6. TinyOS реализован на языке программирования nesC (сетевые встраиваемые системы C).

Основные характеристики TinyOS:

- ESTCube-1 - космическая программа, использующая эту операционную систему.
- Сетевые протоколы, драйверы датчиков, инструменты сбора данных являются частью библиотек компонентов.
- В основном, в этой архитектуре используются беспроводные сенсорные сети.
- TinyOS использует язык программирования nesC, который является расширением языка программирования C и предназначен для TinyOS и приложений для контроля и управления беспроводными сенсорными сетями.
- Широкомасштабное использование этой операционной системы способствует симуляции алгоритмов и протоколов.

³⁷ Cekerevac, Z., Dvorak, Z., & Pecnik, T. (2020, July 15). Top seven IoT operating systems in mid-2020. (Z. Cekerevac, Ed.) MEST Journal, 8(2), 47-68. doi:10.12709/mest.08.08.02.06

³⁸ Baccelli, E. (2018, Apr 4). RIOT an Open Source Operating System for Low-end IoT Devices. Retrieved from SILECS: www.silecs.net/wp-content/uploads/2018/04/2018-04FIT-IoT-Lab-Grid5000-school-Baccelli.pdf

Преимущества

- Основываясь на событиях, TinyOS предлагает пользователю точное сенсорное управление и позволяет ему лучше адаптироваться к случайной беспроводной связи между физическими интерфейсами.
- Совместимость как минимум с 9 аппаратными платформами и простота добавления или изменения платформ.
- Превентивный характер операционной системы определяет, позволит ли она прерывать текущую задачу. TinyOS не управляет этим предупреждением, но предпочитает аппаратные прерывания.
- TinyOS разработан для оптимального управления энергопотреблением: он переводит узел в режим ожидания, когда нет задач для выполнения.
- Для запуска TinyOS требуется немного памяти. Нет необходимости покупать большие устройства памяти, чтобы запустить его. TinyOS также создает небольшой код, который снижает энергопотребление для хранения данных в оперативной памяти.
- Код оптимизирован для работы на любом конкретном устройстве. Из-за меньшего размера кода устройства работают быстро, а ОС не загружает их.
- Модульность - TinyOS содержит много разных модулей. Каждый из них выполняет свою функцию. Модули включают задачи, команды, события, микроконтроллеры,

аппаратное и программное обеспечение. Каждый из этих модулей взаимодействует со всеми остальными, чтобы беспроводные устройства могли работать должным образом.

- Низкое напряжение - из-за небольшого объема памяти и занимаемого места TinyOS использует более слабую батарею, поэтому может работать на небольших устройствах с низким напряжением.
- Повторное использование - TinyOS можно повторно использовать на аналогичных устройствах. Это означает, что изменение кода не требуется, если устройства имеют одинаковую природу³⁹.

Недостатки

- TinyOS не поддерживает приложения реального времени. Он предоставляет алгоритм планирования процессов на основе приоритетов (FIFO и EDF), но, когда запускается запланированный процесс, он выполняется до завершения. Это может привести к несоблюдению крайнего срока для активации высокоприоритетного процесса, следующего за реализацией после низкоприоритетного процесса. Задачи не вытесняются другими задачами, но могут быть вытеснены другим способом.
- TinyOS в своем нынешнем состоянии не является операционной системой, которая соответствует современным

³⁹ Cekerevac, Z., Dvorak, Z., & Pecnik, T. (2020, July 15). Top seven IoT operating systems in mid-2020. (Z. Cekerevac, Ed.)

тенденциям. Он не предлагает, например, многозадачность, многопользовательские опции или файловую систему. Он не предлагает пользовательский режим и режим ядра. Фактически, TinyOS - это набор процедур, доступных разработчику для упрощения разработки.

Raspberry Pi OS. Raspberry Pi OS - это бесплатная операционная система, основанная на последней версии Debian 10 (Buster) с ядром Linux версии 4.19 и компилятором GCC 8.3. Debian - это бесплатная операционная система, которая включает в себя набор программ, позволяющих компьютерам работать с тысячами других пакетов. Debian имеет хорошую репутацию в сообществе Linux, потому что он удивительно высокого качества и стабильный. В основе Debian лежит ядро. Эти функции скопированы в ОС Raspberry Pi. Raspberry Pi является одним из наиболее часто используемых устройств для разработки IoT, а Raspberry Pi OS (ранее Raspbian) является его собственной операционной системой. Raspberry Pi OS очень гибок для процессоров Raspberry Pi line. Raspbian предоставляет огромное количество предустановленного программного обеспечения IoT для общего использования, для экспериментов, в образовательных целях и т. д. Это операционная система IoT на основе Debian для всех моделей Raspberry Pi.

Основные характеристики Raspberry Pi OS:

- Активное развитие Raspbian все еще продолжается, так как спрос на эту операционную систему растет.
- Raspbian Buster (июль 2019) и Raspbian Stretch (август 2017) - это две новейшие версии операционной системы Raspbian.
- Основное окружение рабочего стола - PIXEL, которое является улучшенной средой Pi x-window.
- Распбиан использует программу компьютерной алгебры «Mathematica» и версию «Minecraft».
- Ядро похоже на ядро Unix.

Преимущества

- Основное преимущество ОС Raspbian Pi заключается в том, что она предназначена для конкретного устройства и позволяет наилучшим образом использовать производительность устройства. Само устройство вызвало большой интерес, и для него делаются многие дополнительные устройства, что еще больше увеличивает его популярность.
- Еще одним преимуществом является то, что он основан на надежной операционной системе Linux Debian и обновляется параллельно. Это обеспечило ему мощную поддержку.

Недостатки

- Основным преимуществом является также основной недостаток. Поскольку оно предназначено для конкретного устройства, его применение на платформе Raspberry Pi ограничено.
- Другим недостатком является объем памяти, который ему необходим для работы, и в связи с этим количество электроэнергии для питания

устройства, но это только следствие основного недостатка.

Ubuntu Core. Ubuntu Core - это Ubuntu для IoT и встраивания. Он оптимизирован для безопасности и надежных обновлений. Он прост в установке и устойчив к несанкционированной работе и коррупции. Его корневая файловая система, доступная только для чтения, построена из тех же пакетов, которые используются для создания более широкого набора дистрибутивов Ubuntu, и отличается только способом доставки пакетов и, по сути, способом их обновления. Все это - управляемая прерываниями, безопасная, ограниченная, независимая, кроссплатформенная система пакетов Linux. Пакеты Snap гарантируют, что всегда существует четкое разделение между базовой системой и всеми другими устанавливаемыми приложениями, а также изоляция между каждым приложением, его данными и даже данными версии приложения.⁴⁰

Ubuntu Core разработан с учетом требований устройств IoT. Он работает на разных устройствах, включая Raspberry Pi, Intel NUC, Qualcomm Snapdragon 410c и даже виртуальную машину на основе ядра (KVM)⁴¹.

Минимальные требования для работы Ubuntu Core включают одноядерный процессор 500 МГц, 256 МБ ОЗУ, 512 МБ памяти. Если используется Raspberry Pi 4, то он использует 4 ядра и 1, 2 или 4 ГБ оперативной памяти. На Qualcomm DragonBoard он использует 4 ядра, 1 ГБ оперативной памяти и 8 ГБ флэш-памяти eMMC. Intel NUC с 64-разрядным процессором Intel Core i3, i5, i7 обеспечивает > 8 ядер и > 32 ГБ оперативной памяти без встроенного хранилища.

Безопасность обеспечивается шифрованием с открытым и закрытым ключами, а двухэтапная проверка повышает безопасность до более высокого уровня. Чтобы система оставалась защищенной, ее необходимо постоянно обновлять либо автоматически, либо после получения сообщения о наличии новой версии.

Преимущества

- Простая и последовательная установка и применение.
- Файловая система только для чтения позволяет активировать приложения независимо друг от друга, а доступ к системным ресурсам обеспечивается определенными разрешениями на обновление транзакций, поэтому

⁴⁰ Ubuntu. (2020). Ubuntu Core documentation. Retrieved from Ubuntu for IoT Developers documentation: <https://docs.ubuntu.com/core/en/>

⁴¹ Cekerevac, Z., Dvorak, Z., & Pecnik, T. (2020, July 15). Top seven IoT operating systems in mid-2020. (Z. Cekerevac, Ed.) MEST Journal, 8(2), 47-68. doi:10.12709/mest.08.08.02.06

система может обрабатывать любые непредвиденные ситуации, оборудование или сеть.

- Концепция на основе оснастки обеспечивает безопасность, простоту построения и безболезненное распространение, а проверка открытого / закрытого ключа гарантирует, что именно то, что нужно запустить, работает⁴².

Недостатки

- Одним из основных недостатков Ubuntu является ограниченный выбор приложений, хотя операционная система бесплатна, и многие приложения также можно загрузить бесплатно.
- Одна из основных критических замечаний в отношении Ubuntu связана с «кажущейся коммерциализацией». С каждым обновлением Ubuntu отходит от идентичности с открытым исходным кодом, потому что компания все больше работает независимо и пренебрегает сообществом с открытым исходным кодом⁴³.

Windows 10 for IoT. Операционная система Windows 10 IoT относится к семейству Windows 10 и предназначена для Интернета вещей. Это позволяет организациям легко создавать свои IoT и встраивать их в облачную стратегию. Это появляется в двух выпусках, Core и Enterprise. Версия Core может запускать отдельные приложения, а версия

Enterprise - это полная версия Windows 10 со специализированными функциями для создания ряда приложений на периферийных устройствах.

Преимущества

- Windows 10 постоянно обновляется, что хорошо для обычных пользователей, но не хорошо для промышленных пользователей, потому что это может повлиять на функционирование системы. Поэтому при обновлении Windows 10 IoT промышленные пользователи могут выбирать, какие обновления будут установлены. Только разделы безопасности и безопасности обновляются автоматически.
- Каждая версия Windows 10 Enterprise IoT LTSC будет доступна не менее 10 лет с момента запуска.

Недостатки

- Если пользователям необходимо использовать Edge, Cortana или Windows Store, им нужно искать в другом месте, поскольку ни одна из этих функций не включена в IoT Enterprise.
- При обновлении Windows 10 IoT промышленные пользователи должны выбрать, какие обновления будут установлены.
- Цена Windows 10 IoT не ясна и очень зависит от набора функций для устройства IoT⁴⁴.

⁴² Ubuntu. (2020). Ubuntu Core documentation. Retrieved from Ubuntu for IoT Developers documentation: <https://docs.ubuntu.com/core/en/>

⁴³ Ivankov, A. (2019, Aug 23). Ubuntu Operating System: Advantages and

Disadvantages. Retrieved from Profolus: <https://www.profolus.com/topics/ubuntu-operating-system-advantages-and-disadvantages/>

⁴⁴ Cekerevac, Z., Dvorak, Z., & Pecnik, T. (2020, July 15). Top seven IoT operating

FreeRTOS. Amazon FreeRTOS - это операционная система на основе микроконтроллеров с открытым исходным кодом для разработки IoT, разработанная Amazon-ом. Обогащенные программные библиотеки позволяют легко подключаться к небольшим устройствам IoT. Эта операционная система IoT использует облачную службу Amazon Web Service под названием AWS IoT Core для запуска приложений IoT. Объем памяти составляет всего 6-15 КБ, что делает его более адаптируемым небольшим питаемым микроконтроллером.

Основные характеристики Amazon FreeRTOS:

- Модульность кода, функции приоритизации задач помогают уложиться в сроки обработки с оптимизацией энергопотребления.
- Использование стандартного общего профиля доступа и общего профиля атрибутов (GAP) через Bluetooth с низким энергопотреблением делает его более эффективным.
- Amazon вложил много денег в развитие безопасности данных IoT.
- Пользователи могут поддерживать разнообразную архитектуру с помощью этой технологии.
- Тестер устройств IoT обеспечивает возможность интеграции устройств IoT с облачным сервисом.
- За последние несколько лет он стал стандартом операционных систем на основе микроконтроллеров.

- Он предназначен для встраиваемых систем. В отличие от Contiki и TinyOS, он позволяет запускать приложения в режиме реального времени именно тогда, когда должно произойти событие в системе, и обеспечивает поддержку TCP/IP через стеки uIP и lwIP.

Android Things - это операционная система IoT, и это изобретение Google. Потому что его предыдущее название было Brillo, эксперты сказали, что «Brillo является производным от Android». Он может работать на малой мощности и поддерживает технологии Bluetooth и WiFi. Android Things стремится устранить все препятствия и упростить разработку IoT. Если Android Things хорошо работает на рынке, можно ожидать, что Google запустит IoT магазин приложений.

Основные характеристики **Android Things**:

- Android Things использует только 32-64 Кбайт оперативной памяти, так как это легковесная операционная система.
- Вместе с Android Things, Google объявляет, что предоставит Weave сетевой протокол связи.
- Как Android Things и Weave подключены, так можно обнаружить каждое устройство IoT с помощью смартфона Android.

- Комплект разработчика может помочь в тестировании, сборке и отладке каждого решения IoT.
- Android Things - это технология с открытым исходным кодом, которая регулярно обновляется каждые 6 недель.

Apache Mynewt. Эта IoT OS создана для миниатюрных жестких встроенных IoT-устройств. Это операционная система реального времени под лицензией Apache 2.0, которая предоставляет полную среду для разработки, управления и работы устройств IoT. Благодаря богатым библиотекам модульные операционные системы, такие как Apache Mynewt, могут работать долгое время.

Основные характеристики Apache Mynewt:

- С ядром 6 Кбайт Mynewt очень полезен для построения встроенных систем (промышленного оборудования IoT, медицинских устройств) среди различных микроконтроллеров.
- Он обеспечивает глубокую связь с Bluetooth стека с низким энергопотреблением 4.2.
- Поддерживает до 32 соединений одновременно.
- Консоль, оболочка и загрузчик поддерживают эту операционную систему.
- Apache Mynewt поддерживает планирование на основе приоритетов, вытесняющую многопоточность, многоступенчатый программный сторожевой таймер, кучу памяти и распределение пула памяти и т. д.

2.2.5 Носимые устройства

Термин *носимые вычисления* или *носимые устройства* относится к электронным технологиям или компьютерам, которые встроены в одежду или размещены рядом с телом.

Основные характеристики носимых устройств: мобильность, связь, автоматизация, многозадачность.

Применение носимых устройств имеет большое значение в медицине,

поскольку оно предлагает определенные преимущества для пациентов и врачей. Чаще всего проводится наблюдение за пациентами с диабетом, сердечно-сосудистыми заболеваниями, нарушениями функции мозга, людьми с нарушениями зрения и слуха. Пример применения в мониторинге пациента приведен на рисунке 1.8.



Рис. 1.8. Применение носимых технологий в мониторинге пациентов⁴⁵

Носимые технологии также используются для: военной промышленности, распознавания лиц и т. д. Может также применяться в туризме.

Одним из самых простых примеров применения является так называемая камера для отслеживания пальцев⁴⁶.

2.3 Сенсорные сети

Сенсорная сеть представляет собой набор датчиков, позволяющих контролировать производственный процесс на месте. Все величины в определенном процессе могут быть определены либо путем прямых измерений с использованием датчиков, либо с помощью уравнений, которые связывают их с другими известными переменными. Кроме того, эти величины могут быть разделены на два подмножества, одно из которых состоит

из величины, выбранные экспертами, и их значения должны быть известны, чтобы обеспечить хорошую экспертизу процесса, а другие включает те, значения которых не обязательно требуются. Хорошая сенсорная сеть должна позволять находить все необходимые информации, не имея избытка ненужной информации, которая может привести к ненужным дополнительным расходам.⁴⁷

Сенсорные сети благоприятны для решения задач сбора, обработки и

⁴⁵ Radenković, B., Despotović-Zrakić, M., Bogdanović, Z., Barać, D., Labus, A., & Bojović, Ž. (2017). Internet inteligentnih uređaja. Beograd: FON.

⁴⁶ Sridhar, S., Oulasvirta, A., & Theobalt, C. (10 2014 г.). Fast Tracking of Hand and Finger Articulations Using a Single Depth Camera. Получено из <https://cs.stanford.edu/people/ssrinath/pubs/MPI-I-2014-4-002.pdf>

⁴⁷ Rameh, H., Tran, C.-T., Zoughaib, A., Evans, M.-A., & Gurlia, J.-P. (2017). Optimal Sensor Network Design to Monitor the Energy Performances of a Process Plant. B Computer Aided Chemical Engineering (срп. 1507-1512)./https://www.sciencedirect.com/bookseries/computer-aided-chemical-engineering/vol/40/suppl/C?page=3.

передачи информации с высокими требованиями по автономности, надежности, масштабируемости и распределённости сети. Их основные преимущества:

- оперативность и экономичность развертывания;

- отсутствие необходимости в техобслуживании;
- длительная автономная работа;
- отказоустойчивость и надежность в жестких условиях эксплуатации;
- широкая область применений.⁴⁸

2.3.1 Беспроводные сенсорные сети

Беспроводные сенсорные сети развились из идеи, что маленькие беспроводные датчики могут использоваться для сбора информации из физической среды в большом количестве ситуаций, начиная от отслеживания лесных пожаров и наблюдения за животными до управления сельским хозяйством и промышленного мониторинга. Каждый датчик без проводов передает информацию на базовую станцию, а датчики помогают друг другу передавать информацию на базовую станцию как показано на рисунке 1.9.

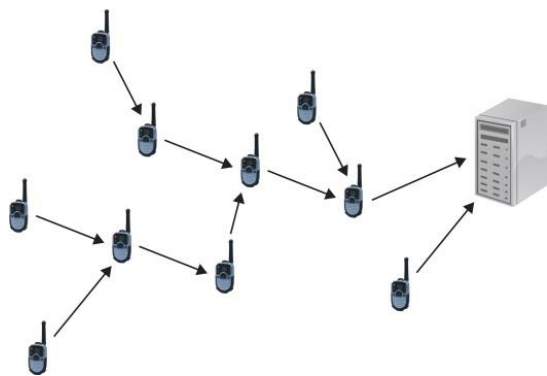


Рис. 1.9. Беспроводные сенсорные сети⁴⁹

Беспроводные сенсорные сети состоятся из пространственно распределенных автономных датчиков для мониторинга физических условий или условий их окружающей среды. Их основная цель заключается в сборе, обработке и доставке измеренной информации конечным пользователям. При этом конечными пользователями могут быть компьютеры управления процессом или люди, которым нужна информация. Для измерения и сбора результатов измерений используются пассивные или активные датчики, которые являются частью многофункциональных платформ IoT.

Беспроводные сенсорные сети реализуются как системы, ориентированные на данные, или как системы, ориентированные на адреса.

2.3.2 Беспроводные сенсорные узлы

Сенсорный узел является узлом в сенсорной сети, который способен

выполнять некоторую обработку, собирать сенсорную информацию и

⁴⁸ ИТМиВТ. (02 05 2007 г.). Сенсорные сети. Получено из Институт точной механики и вычислительной техники им. С. А. Лебедева: www.ipmce.ru/img/release/sensor.pdf

⁴⁹ Vasseur, J.-P., & Dunkels, A. (2010). What Are Smart Objects? Получено из <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/wireless-sensor-networks>

связываться с другими подключенными узлами в сети.

Хотя беспроводные сенсорные узлы существуют в течение десятилетий и используются для разнообразных применений, современная разработка маленьких сенсорных узлов восходит к проекту Smartdust от 1998 года и проекту сенсорных сетей NASA. Одной из целей проекта Smartdust было создание автономного зондирования и коммуникации в кубическом миллиметре пространства. Этот проект рано закончился, но привел ко многим исследовательским проектам. Физические сенсорные узлы смогли увеличить свои возможности в соответствии с законом Мура⁵⁰. Каждый новый чип содержит более сложные микропроцессоры с меньшим энергопотреблением. Таким образом, для одной и той же зоны обслуживания узла в него может быть добавлено больше возможностей кремния. В настоящее время сенсорные узлы фокусируются на предоставлении наибольшего диапазона беспроводной связи (десятки километров), самого низкого энергопотребления (несколько

мкА) и самого простого процесса разработки для пользователя.⁵¹

В зависимости от того, реализованы ли они в проактивных или реактивных беспроводных сенсорных сетях, существуют две группы сенсорных узлов⁵²:

- Сенсорные узлы, которые периодически включают датчики,
- Сенсорные узлы, которые в режиме реального времени реагируют на любые изменения в сети.

Основными компонентами сенсорного узла являются микроконтроллер, приемопередатчик, внешняя память, источник питания (батарея) и один или несколько датчиков.

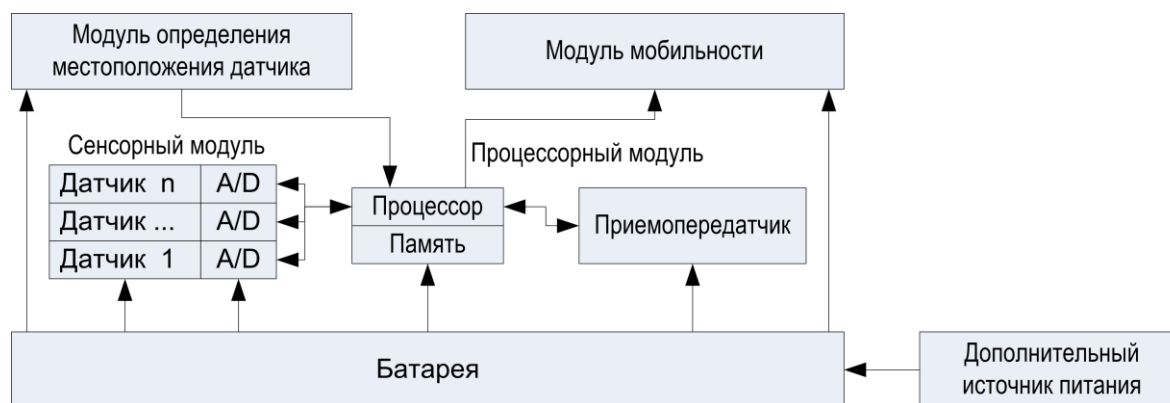
Необязательные компоненты сенсорных узлов могут быть блок определения местоположения сенсора (например, GPS-приемник), модуль мобильности и дополнительный генератор энергии (например, солнечная батарея).

На рисунке 1.10 показана архитектура сенсорного узла с необязательными компонентами.

⁵⁰ Закон Мура гласит, что число транзисторов на микрочипе удваивается примерно каждые два года, хотя стоимость компьютеров уменьшается вдвое. Некоторые говорят, что закон мертв.

⁵¹ Wikipedia. (28 11 2019 г.). Sensor node. Получено из Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Sensor_node

⁵² Radenković, B., Despotović-Zrakić, M., Bogdanović, Z., Barać, D., Labus, A., & Bojović, Ž. (2017). Internet inteligentnih uređaja. Beograd: FON.

Рис. 1.10. Архитектура сенсорного узла⁵³

2.3.3 Архитектура беспроводной сенсорной сети

Архитектура беспроводной сенсорной сети показана на рисунке 1.11.

Задачи каждого сенсорного узла измерять данные относительно параметра, который сенсор контролирует, и направлять данные на устройство доступа. Одной из задач, может быть загрузка данных с соседних устройств. Когда большое количество сенсорных узлов развернуто на большой площади, создание сетей этих беспроводных сенсорных узлов становится очень важной темой.

Сенсорные узлы получают команды с базовых станций, выполняют задачу, взаимодействуя друг с другом и отправляют данные обратно, на базовую станцию. После приема данных от узлов датчиков базовая станция выполняет

обработку данных и отправляет обновленную информацию пользователю через Интернет. Базовая станция действует как шлюз для других сетей через Интернет. Если каждый узел датчика подключен к базовой станции, он известен как архитектура сети с одним переходом (или односкачковая архитектура, рисунок 1.12 а). Передача на большие расстояния возможна, но потребление энергии для связи будет значительно выше, чем для сбора и вычисления данных. Многоскачковая сетевая архитектура обычно используется в серьезных приложениях, когда вместо одной единственной линии связи между узлом датчика и базовой станцией данные передаются через один или несколько промежуточных узлов.

⁵³ Radenković, B., Despotović-Zrakić, M., Bogdanović, Z., Barać, D., Labus, A., & Bojović, Ž. (2017). Internet inteligentnih uređaja. Beograd: FON.

A/D - аналого-цифровой преобразователь (АЦП)

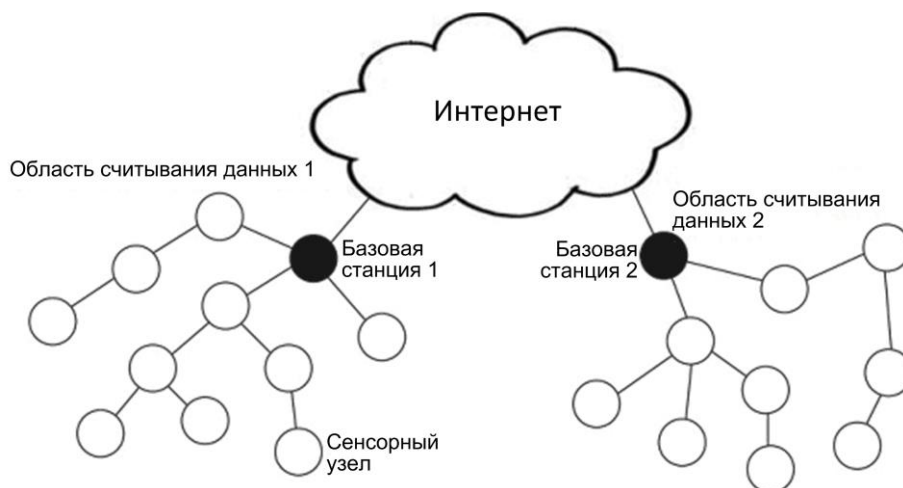


Рис. 1.11 Архитектура беспроводной сенсорной сети⁵⁴

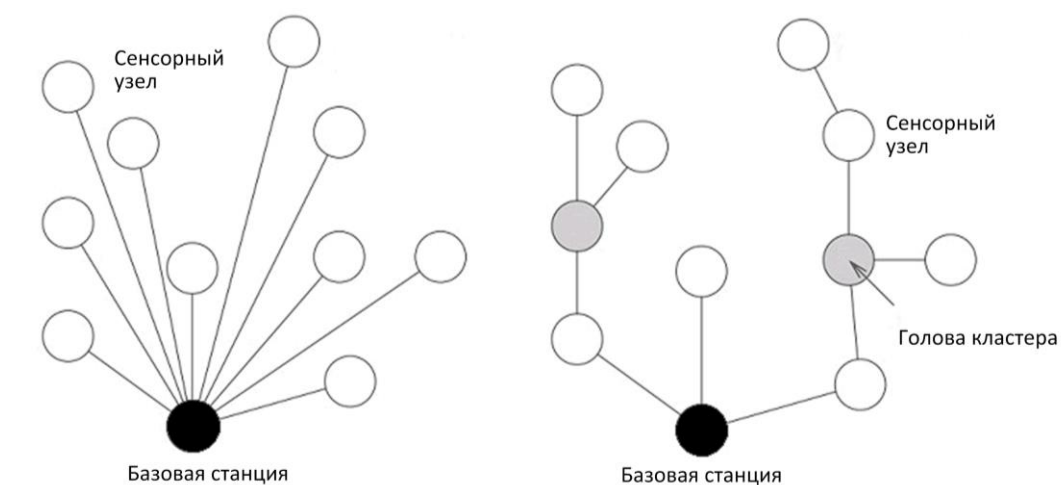


Рис. 1.12 Архитектура беспроводной сенсорной сети⁵⁵
 а) односкачковая сеть б) многоскачковая сеть

Базовая станция может быть реализована двумя архитектурами: плоской сети и иерархической сети. В первом случае базовая станция отправляет команды всем сенсорным узлам, но только узел с совпадающим запросом отвечает,

используя свои равноправные узлы через многоскачковый путь. В иерархической архитектуре сенсорные узлы передают данные в соответствующие головы кластера, а они передают данные на базовую станцию.⁵⁶

⁵⁴ Mike. (26 04 2019 г.). Что такое беспроводная сенсорная сеть (WSN): структура, классификация, топологии. Получено из <http://digitrode.ru/articles/2015-что-такое-besprovodnaya-sensornaya-set-wsn-struktura-klassifikaciya-topologii.html>

⁵⁵ Mike. (26 04 2019 г.). Что такое беспроводная сенсорная сеть (WSN): структура, классификация, топологии. Получено из <http://digitrode.ru/articles/2015-что-такое-besprovodnaya-sensornaya-set-wsn-struktura-klassifikaciya-topologii.html>

⁵⁶ Там же

2.3.4 Многоуровневая архитектура беспроводной сенсорной сети

Основой связи в беспроводных сенсорных сетях является модель многоуровневой архитектуры. Эта

модель состоит из физического слоя, слоя MAC, сетевого слоя, транспортного слоя и прикладного слоя.



Рис. 1.13 Эталонная модель для беспроводных сенсорных сетей⁵⁷

Модель состоит из двух уровней IEEE 802.15.4 и трех уровней ZigBee.

IEEE 802.15 TG4 был зафрахтован для исследования решения с низкой скоростью передачи данных, с многомесячным и многолетним временем автономной работы и очень низкой сложностью. Он работает в нелицензированной международной полосе частот. Потенциальными приложениями являются датчики, интерактивные игрушки, умные баджи, пульты дистанционного управления и домашняя автоматизация. Особенности IEEE 802.15 TG4⁵⁸:

- Скорость передачи данных 250 кбит / с, 40 кбит / с и 20 кбит / с.

- Два режима адресации; 16-битная короткая и 64-битная адресация IEEE.
- Поддержка устройств с критической задержкой, таких как джойстики.
- Доступ к каналу CSMA-CA.
- Автоматическое создание сети координатором.
- Полностью рукопожатие протокол для надежности передачи.
- Управление питанием для обеспечения низкого энергопотребления.
- 16 каналов в диапазоне 2,4 ГГц ISM, 10 каналов в диапазоне 915 МГц I и один канал в диапазоне 868 МГц.

⁵⁷ Radenković, B., Despotović-Zrakić, M., Bogdanović, Z., Barać, D., Labus, A., & Bojović, Ž. (2017). Internet inteligentnih uređaja. Beograd: FON.

⁵⁸ Kinney, P. (27 01 2010 г.). IEEE 802.15 WPAN™ Task Group 4 (TG4). Получено из IEEE 802.15: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>

Целевая группа IEEE 802.15.4f по активной системе RFID предназначена для определения нового беспроводного физического (PHY) уровней и усовершенствований стандартного уровня MAC 802.15.4-2006, которые необходимы для поддержки новых PHY для активной системы RFID с двунаправленным и определением местоположения приложений. Эта поправка предусматривает два PHY (MSK и LRP UWB), которые могут использоваться в широком спектре приложений, требующих различных комбинаций низкой стоимости, низкого энергопотребления, многолетнего заряда батареи, надежной связи, точного определения местоположения и опций считывателя. Этот стандарт PHY поддерживает производительность и гибкость, необходимые для будущего массового развертывания густонаселенных автономных активных систем RFID в любой точке мира⁵⁹.

2.3.4.1 Физический уровень

Роль физического уровня заключается в выполнении следующих функций в общении:

- выбор частоты,
- обнаружение сигнала,
- защита данных,
- передача данных между узлами,
- модуляция,
- реализация энергоэффективности.

2.3.4.2 Слой механизма доступа

Слой механизма доступа (Media Access Control, MAC) отвечает за следующие функции:

- мультиплексирование пакетов данных,
- формирование заголовка пакета,
- физическая адресация
- управление потоками пакетов,
- контроль ошибок передачи,
- контроль доступа.

2.3.4.3 Сетевой уровень

Сетевой уровень обеспечивает обмен данными между транспортным, прикладным и MAC уровнями. Задача сетевого уровня состоит в том, чтобы правильно сформировать топологию сети, настроить и адресовать устройства, позаботиться соседством между узлами, найти наилучший способ доставки сообщения в пункт назначения и контролировать потребление энергии путем включения и выключения узлов.

2.3.4.4 Транспортный уровень

TCP как транспортный протокол не гарантирует надежную передачу из-за большого количества узлов и передатчиков, и необходимости для отдельных устройств доступа инициировать многоадресный трафик.

Следующие протоколы используются на транспортном уровне:

⁵⁹ IEEE SA. (06 02 2012 г.). 802.15.4f-2012 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-- Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) Amendment 2: Active Radio Frequency

Identification (RFID) System Physical Layer (PHY). Получено из IEEE Standards Association: https://standards.ieee.org/standard/802_15_4f-2012.html

- **PFSQ** (angl. Pump Slow Fetch Quickly) - качай медленно, выбирай быстро,
- **RMST** (angl. Reliable Multi-Segment Transport) - надежный многосегментный транспорт,
- **ESRT** (angl. Event-to-Sink Reliable Transport) - событие потопить надежный транспорт,
- **CODA** (angl. Congestion Detection and Avoidance) Обнаружение заторов и предотвращение.

2.3.4.5 Прикладной уровень

Самые известные протоколы приложений:

- **SMP** (angl. Sensor Management Protocol) - протокол управления датчиками,
- **TADP** (angl. Task Assignment and Data Advertisement Protocol) - Протокол назначения задач и объявления данных,
- **SQDDP** (angl. Sensor Query and Data Dissemination Protocol) - протокол запроса датчика и распространения данных⁶⁰.

2.3.5 Реализация беспроводных сенсорных сетей

На практике существует несколько причин, по которым узлы датчиков могут выходить из строя. Наиболее распространенные причины: перебои в подаче электроэнергии, помехи от соседних узлов и физическое повреждение. Беспроводная сенсорная сеть должна продолжать функционировать независимо от отказа отдельных узлов. Под ее надежностью понимается способность доставлять пакеты в соответствующий набор сенсорных узлов в зависимости от приложения. Для повышения надежности было разработано множество механизмов управления отказами.

Каждый сенсорный узел имеет свою собственную зону покрытия, в которой он выполняет функцию определенного типа с заданной точностью. Для

максимального воздействия необходимы тщательный отбор компонентов и обслуживание сети.

Для работы беспроводных сенсорных сетей необходима координация работы большого количества сенсорных узлов.

Основными функциями таких платформ являются поддержка разработки, сопровождения, развертывания и выполнения приложений.

Общая архитектура для передачи данных из сенсорной сети показана на рисунке 1.14.

В зависимости от среды, в которой развернуты, беспроводные сенсорные сети могут использоваться для:

- Индивидуальные и периодические измерения, на основе которых можно аппроксимировать временные или пространственные функции,

⁶⁰ Radenković, B., Despotović-Zrakić, M., Bogdanović, Z., Barać, D., Labus, A., &

Bojović, Ž. (2017). Internet inteligentnih uređaja. Beograd: FON.

отслеживать изменения или определять граничные значения наблюдаемой величины.

- Отслеживание объектов во времени и пространстве и передача собранной информации на устройство доступа.

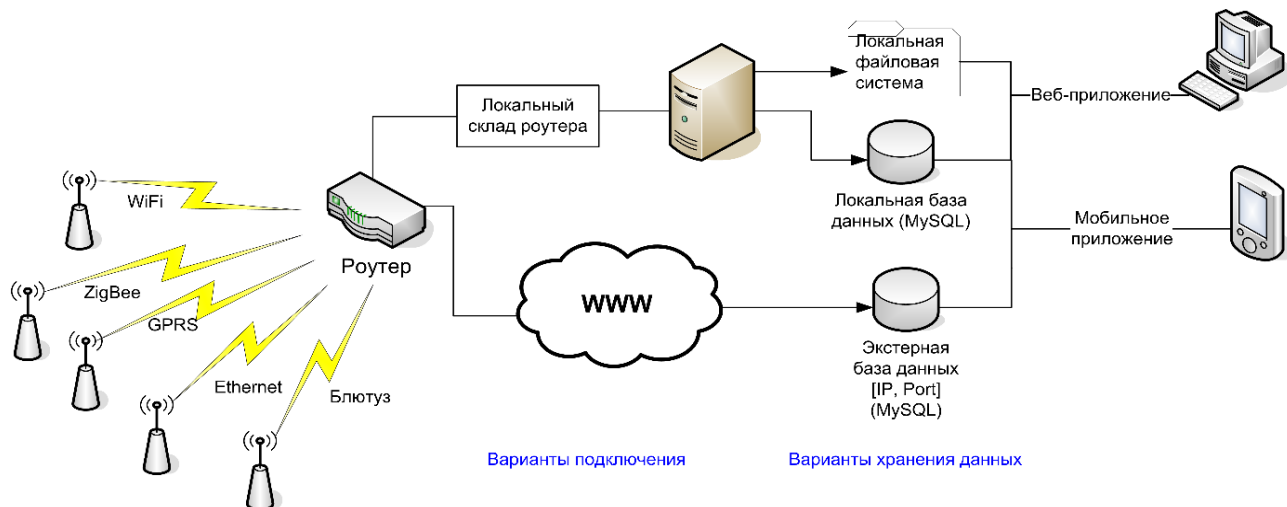


Рис. 1.14: Архитектура передачи данных из сенсорной сети

Наиболее важными областями применения беспроводных сенсорных сетей являются: промышленность, военные назначения, геолокация, общественная безопасность, сельское хозяйство, сейсмология,

здравоохранение, идентификация инцидентов, мониторинг объектов, трафик, логистика, научные, биологические и экологические приложения.

2.4 Сетевые протоколы в IoT

Интернет интеллектуальных устройств - это сеть физических объектов со встроенной электроникой, программным обеспечением и датчиками, которые собирают данные из окружающей среды и обмениваются ими с другими устройствами и системами. Удаленный доступ к этим устройствам и связь со средой осуществляется через существующую сетевую инфраструктуру, которая должна обеспечивать устройствам IoT беспрепятственный и безопасный доступ в Интернет.

Глобальная сеть Internet of Things включает линии связи, сетевые шлюзы, маршрутизаторы (роутеры), IoT-платформы, взаимодействие которых возможно благодаря многообразию стандартов и протоколов. Большую роль среди них играют протоколы беспроводной связи, без которых вообще сложно представить сеть Интернет вещей.⁶¹ Протоколы многочисленны и разнообразны, и некоторые из наиболее значимых будут упомянуты ниже.

⁶¹ Ионова, А. (03 02 2017 г.). Обзор протоколов беспроводной связи для Интернета вещей. Получено из iot:

<https://iot.ru/promyshlennost/obzor-protokolov-besprovodnoy-svyazi-dlya-interneta-veshchey>

2.4.1 Сетевые протоколы

В области связи наблюдается тенденция интеграции систем M2M и беспроводных сенсорных сетей с интернет-сервисами, использующими существующие протоколы TCP/IP. Цель интеграции - предоставить интеллектуальным устройствам возможность подключения через стек TCP/IP и веб-сервисы и обеспечить агрегирование, визуализацию и анализ данных, полученных со смарт-устройств.

Протоколы для связи со смарт-устройствами просты, но их сложность обусловлена аппаратными и программными возможностями самих устройств IoT.

2.4.1.1 Ethernet

Ethernet является протоколом, определенным стандартами IEEE 802.3 для связи на физическом и канальном уровнях эталонной модели OSI, и является одной из наиболее часто используемых мультимедийных технологий в сетях LAN и WAN.

Каждое устройство в сети Ethernet имеет аппаратную часть с 48-битным MAC-адресом, который однозначно идентифицирует устройство. MAC-адрес считывается один раз из ПЗУ при инициализации сетевой карты, в дальнейшем все кадры генерируются операционной системой. Все

современные операционные системы позволяют поменять его.

2.4.1.2 Wi-Fi

Wi-Fi часто используется в коммуникациях IoT и представляет собой технологию для локальных беспроводных сетей, основанную на группе стандартов IEEE 802.11. Обычно используется полоса 2,4–2,4835 ГГц, за исключением стандарта 802.11a, для которого требуется полоса 5,725–5,850 ГГц.

Стандарт Wi-Fi даёт клиенту полную свободу при выборе критериев для соединения. Более подробно принцип работы описан в официальном тексте стандарта⁶²

2.4.1.3 WiMAX

WiMAX (англ. Worldwide Interoperability for Microwave Access) — телекоммуникационная технология, разработанная с целью предоставления универсальной беспроводной связи на больших расстояниях для широкого спектра устройств (от рабочих станций и портативных компьютеров до мобильных телефонов). Основана на стандарте IEEE 802.16, который также называют Wireless MAN (WiMAX следует считать жаргонным названием, так как это не технология, а название

⁶² IEEE. (07 12 2016 г.). 802.11-2016 - IEEE Standard for Information technology. Получено из IEEE Standards Association:

https://standards.ieee.org/standard/802_11-2016.html

форума, на котором Wireless MAN был согласован)⁶³.

Максимальная скорость WiMAX — до 1 Гбит/сек на ячейку. WiMAX имеет приложение, аналогичное Wi-Fi, но работает на больших расстояниях, с более высокой пропускной способностью и для нескольких пользователей. В соответствии с требованиями мобильности пользование WiMAX можно в диапазоне от фиксированного доступа до полной мобильности.

2.4.1.4 Блютуз (Bluetooth)

Технология блютуз (bluetooth) является примером беспроводной сети для большого количества устройств, устроенной на данный случай. Она характеризуется низким энергопотреблением и низкой стоимостью радиосвязи.

Принцип действия основан на использовании радиоволн в диапазоне

2,4—2,4835 ГГц. В блютуз применяется метод расширения спектра со скачкообразной перестройкой частоты⁶⁴. Согласно алгоритму скачкообразной перестройкой, в блютуз несущая частота сигнала скачкообразно меняется 1600 раз в секунду⁶⁵ (всего выделяется 79 рабочих частот шириной в 1 МГц). Последовательность переключения между частотами для каждого соединения является псевдослучайной и известна только передатчику и приёмнику, которые каждые 625 мкс (один временной слот) синхронно перестраиваются с одной несущей частоты на другую. Таким образом, если рядом работают несколько пар приёмник-передатчик, то они не мешают друг другу. Этот алгоритм является также составной частью системы защиты конфиденциальности передаваемой информации.

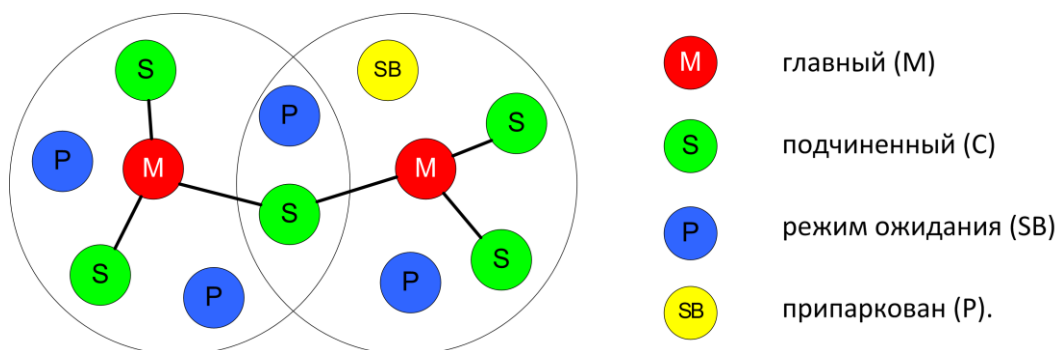


Рис. 1.15 Архитектура сети блютуз

⁶³ Wikipedia. (28 07 2019 г.). WiMAX. Получено из Wikipedia: <https://ru.wikipedia.org/wiki/WiMAX>

⁶⁴ Бителева, А. (08 2002 г.). Технологии мультимедийного доступа. Журнал «Теле-Спутник», 8(82).

⁶⁵ Вишневский, и. д. (2005). Широкополосные беспроводные сети передачи данных. М: Техносфера.

Протокол Bluetooth поддерживает не только соединение «point-to-point», но и соединение «point-to-multipoint»⁶⁶

Архитектура сети блютуз основана на концепции рассеивающих сетей (scatternet), которая создает несколько небольших ячеек, пикосетей, в которых устройства работают в одном из четырех различных режимов: главный (M), подчиненный (C), режим ожидания (SB) или припаркован (P).

2.4.1.5 IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 стандарт определяет физический слой и управление доступом к среде для беспроводных персональных

сетей с низким уровнем скорости. Аппаратура, построенная на базе данного стандарта, относится к устройствам малого радиуса действия. Является базовой основой для протоколов ZigBee, WirelessHART, MiWi, ISA100.11, Thread, каждый из которых, в свою очередь, предлагает решение для построения сетей посредством постройки верхних слоёв, которые не регламентируются стандартом. В качестве альтернативы он может быть использован совместно со стандартом 6LoWPAN и стандартными протоколами Интернета для построения встроенного беспроводного Интернета⁶⁷.

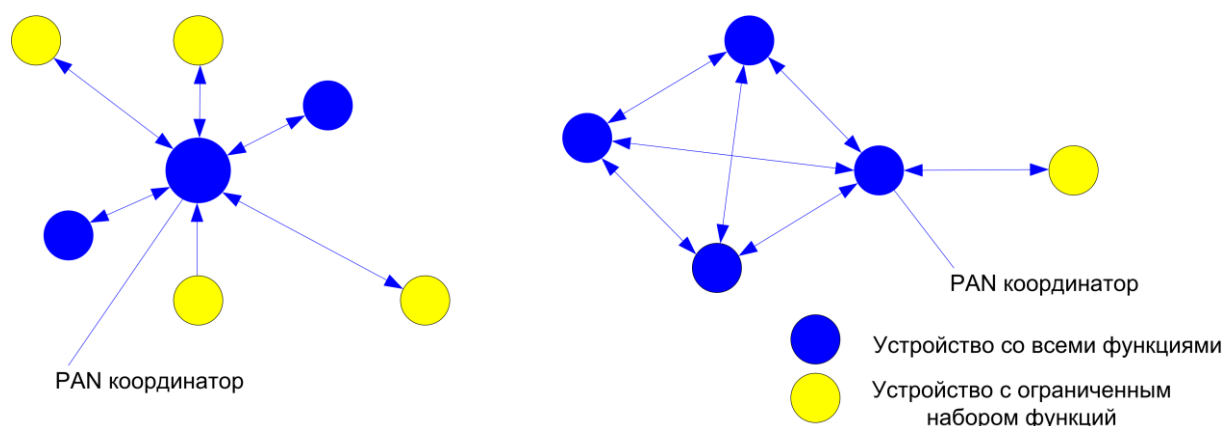


Рис. 1.16 Топологии сети LR-WPAN

В зависимости от требований приложения, сети IEEE 802.15.4 LR-WPAN могут быть как звездами, так и одноранговыми, рис. 1.16. В топологии «звезда» связь устанавливается между устройством и центральным контроллером, называемым персональным координатором PAN Area.

2.4.1.6 ZigBee

ZigBee — спецификация сетевых протоколов верхнего уровня — уровня приложений APS (англ. application support sublayer) и сетевого уровня NWK, — использующих сервисы нижних уровней — уровня управления доступом к среде MAC и физического уровня PHY, регламентированных

⁶⁶ Вишневский, и. д. (2005). Широкополосные беспроводные сети передачи данных. М: Техносфера.

⁶⁷ Википедия. (22 11 2019 г.). IEEE 802.15.4. Получено из Википедия: https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4

стандартом IEEE 802.15.4. ZigBee и IEEE 802.15.4 описывают беспроводные персональные вычислительные сети (WPAN). Спецификация ZigBee ориентирована на приложения, требующие гарантированной безопасной

передачи данных при относительно небольших скоростях и возможности длительной работы сетевых устройств от автономных источников питания (батарей).⁶⁸

2.4.2 Запатентованные коммерческие протоколы

2.4.2.1 EnOcean

EnOcean - это беспроводная технология, основанная на концепции питания сбором энергии. EnOcean используется при разработке систем автоматизации и в других приложениях в промышленности, транспорте, логистике и умных домах.

Ключевые преимущества протокола EnOcean: сокращение времени проектирования и внедрения системы, отсутствие проводной фоновой инфраструктуры, простота обслуживания, надежность и гибкость.

2.4.2.2 Z-wave

Z-Wave — это беспроводная радио технология с низким энергопотреблением, разработанная специально для дистанционного управления. В отличие от Wi-Fi, Z-Wave работает в диапазоне частот до 1 ГГц и оптимизирована для передачи простых управляющих команд с малыми задержками (например, включить/выключить, изменить громкость, яркость и т. д.). Выбор низкого радиочастотного диапазона для

Z-Wave обусловлен малым количеством потенциальных источников помех (в отличие от загруженного диапазона 2,4 ГГц).

Z-Wave предназначен для создания недорогой и энергоэффективной потребительской электроники, в том числе устройств на батарейках, таких как пульты дистанционного управления, датчики дыма, температуры, влажности, движения и других датчиков безопасности.

Связь между устройствами в сетях Z-wave осуществляется в соответствии с трехуровневой моделью связи: уровень радиосвязи, уровень сети, уровень приложений.

2.4.2.3 Insteon

Insteon - это технология домашней автоматизации (домотики), которая позволяет световым выключателям, источникам света, термостатам, датчикам утечки, пультам дистанционного управления, датчикам движения и другим устройствам с электропитанием взаимодействовать через линии электропередачи, радиочастотную (РЧ) связь или обе⁶⁹.

⁶⁸ Википедия. (05 03 2020 г.). ZigBee. Получено из Википедия: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ZigBee>

⁶⁹ Derene, G. (30 01 2009 г.). How to Control Your Home with your Cell Phone. Получено из Popular Mechanics:

Insteon интегрированная сеть объединяет беспроводную радиочастоту (РЧ) и существующую электропроводку здания. Электропроводка становится резервной средой передачи в случае радиочастотных/беспроводных помех. И наоборот, радиочастотная/беспроводная связь становится резервной средой передачи на случай помех в линии электропередачи. Как одноранговая сеть, устройства не требуют сетевого контроля, что позволяет дополнительно работать без центральных контроллеров и таблиц маршрутизации.

Insteon использует сетевую топологию, в которой все устройства являются одноранговыми, и каждое устройство независимо передает, принимает и повторяет сообщения. Как и другие системы домашней автоматизации, он был связан с Интернетом вещей⁷⁰.

Устройства Insteon могут функционировать без центрального контроллера, но они могут тоже управляться центральным контроллером для реализации таких функций, как управление через смартфоны и планшеты, управление расписанием, обработка событий и создание отчетов о проблемах посредством электронной почты или текстовых сообщений. Компьютер можно использовать в качестве центрального контроллера, подключив его к USB/последовательному модему PowerLine Insteon, который служит мостом связи между компьютером и сетью устройств Insteon.

В сетях домашних устройств протоколы определяют, как лампы, водонагреватели, холодильники или другие устройства взаимодействуют. Для этого были разработаны LonWorks, KNX, X-10 и другие протоколы.

2.4.3 Сетевые протоколы бытовой техники

2.4.3.1 X10

X10 - это международный открытый отраслевой стандарт для связи электронных устройств в домашней автоматизации. X10 используется в большом количестве домашних хозяйств из-за его простоты, расширяемости без дополнительных затрат и уровня разработки протокола.

Преимущества протокола X10:

- дешево
- доступно почти везде (RadioShack)
- большое сообщество и существующее вдохновение из-за его возраста

Недостатки протокола X10:

- медленный
- ненадежный (новые Powerlines стали очень шумными, что приводит к потере команд)
- без шифрования

http://www.popularmechanics.com/home_journal/home_improvement/4301977.html

⁷⁰ Thibodeau, P. (18 04 2014 г.). Can we talk? Internet of Things vendors face a communications 'mess'. Получено из

Computerworld:

<https://www.computerworld.com/article/2488373/can-we-talk--internet-of-things-vendors-face-a-communications--mess-.html>

- трудно установить для нетехнических специалистов по сравнению с более новыми технологиями (например, Z-Wave, ZigBee)

2.4.3.2 KNX

KNX - это сетевой протокол для интеллектуальных зданий, основанный на стандарте OSI, работающий на нескольких средах связи: витая пара, сеть электропитания, радиоволны, инфракрасный порт, Ethernet. Чаще всего реализуется с использованием витых пар.

Подключенные к сети устройства могут обмениваться информацией через общий канал передачи, шину. При этом подлежащая передаче информация упаковывается в телеграмму и передается по кабелю от датчика (сенсора — отправителя команд) к одному или нескольким исполнительным механизмам. При успешной передаче и приеме каждое устройство-приёмник квитирует (подтверждает) получение телеграммы. При отсутствии подтверждения передача повторяется еще два раза. Если и после этого квитирование отсутствует, то процесс передачи заканчивается. Именно поэтому протокол EIB⁷¹ не является «промышленным», то есть его нельзя применять в приложениях, связанных с опасностью для людей⁷².

В состав оборудования KNX входили следующие типы устройств:

- Сенсоры (датчики)
- Исполнительные устройства (актуаторы, преобразователи, смежные модульные системы)
- Системные устройства

Топология сети:

- Для простых систем используется топология - Линия (или шина)
- Если устройств больше, то рекомендуется топология Область (Area)
- Самая сложная "древовидная" топология реализуется при объединении областей с помощью магистральной линии.

Считается, что "древовидная" топология лучше всего подходит для домов и зданий.⁷³

2.4.3.3 LonWorks

Echelon разработал протокол LonWorks (LonTalk) или стандарт ANSI / EIA 709.1 в качестве платформы для интеллектуального строительства в отрасли, которая все чаще применяется в домашней автоматизации. Платформа состоит из: микропроцессора (Neuron), протокола связи (LonTalk) и сетевых сервис (Lonworks Network Services-LNS).

Скорость связи в сетях LonWorks зависит от среды: витая пара, городская электросеть, радиоволны, инфракрасные

⁷¹ EIB - аббр. от англ. *European Installation Bus*, рус. *Европейская инсталляционная шина*.

⁷² KNX. (27 11 2019 г.). Получено из Wikipedia: <https://ru.wikipedia.org/wiki/KNX>

⁷³ Там же

волны, коаксиальный кабель или оптические волокна.

Архитектура протокола LonWorks основана на одноранговом обмене данными.

Созданный компанией Echelon 8-битный процессор, называемый «Neuron chip», был изначально единственным средством имплементации протокола

LonTalk, и используется в большинстве LonWorks устройств. Позднее, протокол был опубликован и сделан доступным для процессоров общего назначения — порт стандарта ANSI/EIA709.1 в IP-базирующиеся или 32-битные чипы. Однако, это было относительно недавней разработкой и не было широко распространено⁷⁴.

2.4.4 Протоколы мобильной сети

2.4.4.1 3G

3G - это третье поколение мобильной телефонии, основанное на наборе стандартов для использования услуг и сетей мобильной связи в соответствии со спецификацией Международной подвижной электросвязи-2000 (IMT-2000).

3G используется в голосовой телефонии, мобильном доступе в Интернет, видеозвонках, мобильном телевидении, видеоконференцсвязи, услугах определения местоположения, системах GPS, телемедицине и многом другом.

Основным преимуществом по сравнению с предыдущими поколениями является более высокая скорость потока и более широкий спектр услуг.

Следующие стандарты относятся к сети 3G: UMTS, CDMA 2000, EDGE, W-CDMA, HSDPA и т. д.

2.4.4.2 4G

LTE (Long Term Evolution), более известный как 4G, является стандартом высокоскоростной беспроводной связи для мобильных устройств и терминалов. Он основан на передовых сетевых технологиях GSM / EDGE и UMTS / HSDPA и методах модуляции OFDMA, SC-FDMA, MC-CDMA. Самые большие изменения происходят в архитектуре системы, поскольку она переключается с линии UMTS и коммутации пакетов на IP-архитектуру.

Наиболее значимыми технологиями в группе 4G являются: Long Term Evolution, Ultra Mobile Broadband (UMB), стандарт IEEE 802.16 (WiMax) и MIMO.

2.4.4.3 5G

5G (от англ. fifth generation — пятое поколение) — пятое поколение мобильной связи, действующее на основе стандартов телекоммуникаций, следующих за существующими

⁷⁴ LonWorks. (11 07 2019 г.). Получено из Wikipedia:
<https://ru.wikipedia.org/wiki/LonWorks>

стандартами 4G/IMT-Advanced⁷⁵ (ITU, 2017). Технологии 5G должны обеспечивать более высокую пропускную способность по сравнению с технологиями 4G, что позволит обеспечить большую доступность широкополосной мобильной связи, а также использование режимов device-to-device (букв. «устройство к устройству», прямое соединение между абонентами), сверхнадёжные масштабные системы коммуникации между устройствами, а также меньшее время задержки, скорость интернета 1—2 Гбит/с, меньший расход энергии батарей, чем у 4G-оборудования, что благоприятно скажется на развитии Интернета вещей⁷⁶

Одной из ключевых технологий для реализации сетей сотовой связи 5G является использование в составе базовых станций многоэлементных цифровых антенных решёток. Цифровая антенная решётка (ЦАР) — антенная решётка с поэлементной обработкой сигналов, в которой сигналы от излучающих элементов подвергаются аналого-цифровому преобразованию с последующей обработкой по определённым алгоритмам. Количество антенных элементов в цифровых антенных решётках 128, 256 и более. Соответствующие системы получили наименование Massive MIMO.⁷⁷

2.4.5 Протоколы сетевого уровня Интернета

2.4.5.1 IPv4

Ключевая роль IPv4 заключается в том, чтобы обеспечить соединение, распознавание и передачу данных между двумя устройствами, которые обмениваются данными через Интернет-протокол.

Структура адресов IPv4 является иерархической и состоит из: сетевой части (идентификатор сети) и части хоста (идентификатор HOST). Адреса

IPv4 могут назначаться статически или динамически.

При обмене данными между устройствами через Интернет протокол IPv4 использует три типа адресов для отправки пакетов в Интернет: одноадресная, многоадресная, широковещательная.

Ранняя версия стандарта IP согласно RFC 760⁷⁸, описывала жёсткое разделение адресного пространства на подсети и хосты. Первый октет

⁷⁵ ITU. (22 02 2017 г.). ITU towards “IMT for 2020 and beyond”. Получено из International Telecommunications Union: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx>

⁷⁶ Osseiran, A., Boccardi, F., Braun, V., Kusume, K., Marsch, P., Maternia, M., . . . Schotten, H. (2014). Scenarios for 5G mobile and wireless communications: the vision of the

METIS project. IEEE Communications Magazine, 26-35.

⁷⁷ Слюсар, В. (2018). Развитие схмотехники ЦАР: некоторые итоги. Электроника: наука, технология, бизнес(1), 72-77. Получено из http://slyusar.kiev.ua/Slyusar1_2018_LP.pdf

⁷⁸ Postel, J. (01 1980 г.). DOD Standard - Internet Protocol. Получено из IETF Tools: <https://tools.ietf.org/html/rfc760>

двоичных чисел обозначал адрес сети, за которым следовал локальный адрес хоста, занимавший оставшиеся три октета двоичных чисел. Размер подсети фиксирован. Таким образом стандарт допускал существование $2^8=256$ сетей по $2^{24}=16.777.216$ хостов в каждой. Однако очень скоро выяснилось, что сетей слишком мало, они слишком большие, и адресация лишена гибкости. Поэтому уже в сентябре 1981 года вышел RFC 791 (англ.), который вводил, так называемую, классовую адресацию. Идея заключается в следующем: для гибкости в назначении адресов сетей и возможности использовать большое число малых и средних сетей адресное пространство было разделено на несколько логических групп и в каждой группе отводилось разное соотношение хостов и подсетей. Эти группы носят названия классы сетей и пронумерованы латинскими буквами: А, В, С, D и E. Деление основывается на старших битах адреса. Подробно адресация рассматривается в RFC 3232⁷⁹

2.4.5.2 IPv6

IPv6 определяет новый формат пакетов, разработанный для минимизации управления заголовками пакетов маршрутизаторами. IPv6 использует 128-битные адреса. Как и в схеме адресов IPv4, адреса IPv6 имеют иерархическую организацию.

Существует три типа адресов IPv6: одноадресная, многоадресная, групповая рассылка (unicast, multicast, anycast соответственно).

Внедрение протокола IPv6 позволило ускорить разработку и развертывание решений IoT. Основными преимуществами развертывания IPv6 в IoT являются: масштабируемость, устранение барьеров NAT, поддержка различных заинтересованных сторон, функции протоколов IPv6, TinyOS и сетевой стек, расширенная поддержка оборудования, расширение концепции Интернета вещей в Сеть вещей (Web of Things), мобильность, автоконфигурация адресов, полная совместимость шлюзов, стандартизация.

Подробно адресация рассматривается у Hinden R.⁸⁰

2.4.5.3 6LoWPAN

6LoWPAN представляет IPv6 в беспроводных персональных сетях с низким энергопотреблением, который фактически является уровнем адаптации IPv6, реализованным в сетях IEEE 802.15.4. Этот протокол определяет механизмы инкапсуляции и сжатия заголовков, позволяя отправлять и принимать пакеты IPv6 по сетям на основе стандарта IEEE 802.15.4. Основная идея заключается в том, что интернет-протокол может быть применен к самым маленьким

⁷⁹ Reynolds, J. (01 2002 г.). Assigned numbers. Получено из Network Working Group Request for Comments: 3232: <https://tools.ietf.org/html/rfc790>

⁸⁰ Hinden, R. (02 2006 г.). IP Version 6 Addressing Architecture. Получено из IETF Tools: <https://tools.ietf.org/html/rfc4291#section-2.5.6>

устройствам и что устройства с низким энергопотреблением с ограниченными возможностями обработки включены в IoT.

Стандарт 6LoWPAN позволяет подключать устройства Bluetooth и Zigbee к Интернету без необходимости установки специальных ворот.

2.4.6 Беспроводные ячеистые сети

Беспроводные ячеистые сети (WMN) характеризуются отсутствием центрального узла, через который будет осуществляться вся связь. Вместо этого каждый узел в сети служит передатчиком данных для других узлов. Наличие нескольких каналов передачи данных между пользователями означает, что сетевые микшеры более надежны, чем другие коммуникации, с точки зрения отказоустойчивости. Неисправность узла не означает прерывания сетевого трафика, поскольку он быстро находит другой способ передачи данных между пользователями.

Архитектура беспроводных ячеистых сетей может быть реализована тремя способами в зависимости от топологии: плоская беспроводная сетка, иерархическая беспроводная сетка и гибридная беспроводная сетка.

С точки зрения передачи данных беспроводные ячеистые сети надежны и устойчивы.

Протоколы маршрутизации обеспечивают необходимые пути передачи данных, чтобы узлы взаимодействовали функциональным и оптимальным образом, проверяя изменяющиеся условия в сети.

Беспроводные ячеистые сети содержат фиксированные или мобильные устройства, в зависимости от потребностей связи. Некоторые примеры приложений: военные для сетевого компьютерного оборудования; объекты, где электрические и другие счетчики считываются и передаются в центральное место; образовательные услуги, позволяющие учащимся передавать файлы при отсутствии кабельного или мобильного доступа; разговор между двумя спутниковыми телефонами направляется через ячеистую сеть от одного спутника к другому, минуя наземные станции.

2.4.7 Протоколы транспортного уровня

2.4.7.1 TCP

Transmission Control Protocol (TCP, протокол управления передачей) — один из основных протоколов передачи данных интернета, предназначенный для управления передачей данных.

В стеке протоколов TCP/IP выполняет функции транспортного уровня модели OSI. В основе TCP лежит идея о том, что получатель сообщения должен ответить подтверждением при получении данных.

Механизм TCP предоставляет поток данных с предварительной установкой соединения, осуществляет повторный запрос данных в случае потери данных и устраняет дублирование при получении двух копий одного пакета, гарантируя тем самым целостность передаваемых данных и уведомление отправителя о результатах передачи.

Реализации TCP обычно встроены в ядра ОС. Существуют реализации TCP, работающие в пространстве пользователя.

Когда осуществляется передача от компьютера к компьютеру через Интернет, TCP работает на верхнем уровне между двумя конечными системами, например, браузером и веб-сервером. TCP осуществляет надёжную передачу потока байтов от одного процесса к другому. TCP реализует управление потоком, управление перегрузкой, рукопожатие, надёжную передачу.

2.4.8 Межуровневая связь для интернет-интеллектуальных устройств

На рисунке 1.17 показана многоуровневая архитектура беспроводной коммуникационной сенсорной сети, в которой осуществляется связь ее элементов.

Основные функции физического-, канального-, сетевого- и транспортного уровня соответствуют их стандартным функциям в эталонной модели OSI.

2.4.7.2 UDP

Как и TCP, UDP (User Datagram Protocol) является одним из ключевых компонентов интернет-протоколов. UDP отправляют сообщения, в данном случае дейтаграммы, на другие онлайн-хосты без предварительной связи и открытия специальных каналов передачи. Он чаще всего используется в приложениях, где скорость является ключом к доставке данных, но не гарантирует доставки определенного сообщения. Ключевые особенности этого протокола: ориентация на транзакции и датаграммы, простота, нехватка памяти и коммуникация во всех направлениях.

Природа UDP как протокола без сохранения состояния также полезна для серверов, отвечающих на небольшие запросы от огромного числа клиентов, например DNS и потоковые мультимедийные приложения вроде IPTV, Voice over IP, протоколы туннелирования IP и многие онлайн-игры⁸¹.

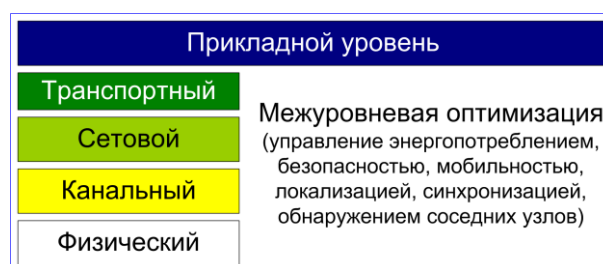


Рис. 1.17 Многослойная архитектура в беспроводных сенсорных сетях

Прикладной уровень реализует программную поддержку для различных

⁸¹ UDP. (15 01 2020 г.). Получено из Wikipedia: <https://ru.wikipedia.org/wiki/UDP>

типов беспроводной сенсорной сети и методов комбинирования данных (агрегирование и объединение). Межуровневая оптимизация сети является новым элементом в архитектуре. Она выполняется при управлении энергопотреблением, безопасностью, мобильностью, локализацией, синхронизацией и обнаружением соседних узлов.

Для межуровневой оптимизации важен выбор параметров оптимизации, который осуществляется посредством следующих шагов: абстракция

параметров специфичных для данного уровня, идентификация параметров, которые оптимизируют данную функцию, реконфигурирование уровня.

Для совместной оптимизации параметров физического уровня (мощность передатчика, тип модуляции, скорость передачи в битах, BER), уровня MAC-DLC (схема доступа, размер и занятость буфера передачи) и прикладного уровня (кодирование источника и допустимая задержка) используются межуровневые алгоритмы⁸².

2.5 M2M связь

Межмашинное взаимодействие (машинно-машинное взаимодействие, англ. Machine-to-Machine, M2M) — общее название технологий, которые позволяют машинам обмениваться информацией друг с другом, или же передавать её в одностороннем порядке.⁸³ В общем, когда кто-то говорит M2M-связь, он часто ссылаются на сотовую связь для встроенных устройств. Технологии M2M должны обеспечивать автоматическую связь различных устройств и связь с глобальной сетью без участия человека.

2.5.1 M2M коммуникация

Устанавливается проводной или беспроводной передачей. В основе

Машинное взаимодействие происходит в основном через IP-протоколы.

Поскольку предприятия осознали ценность M2M, он приобрел новое название: Интернет вещей (IoT). С развитием связи M2M был запущен широкий спектр приложений, таких как интеллектуальный учет, дистанционный мониторинг состояния здоровья пациентов, управление и мониторинг транспортных средств и автоматизация промышленности.

каждой M2M коммуникации лежат следующие процессы::

⁸² Radenković, B., Despotović-Zrakić, M., Bogdanović, Z., Barać, D., Labus, A., & Bojović, Ž. (2017). Internet inteligentnih uređaja. Beograd: FON.

⁸³ M2M. (20 10 2018 г.). Межмашинное взаимодействие. Получено из Википедия: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D0%B6%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B2%D0%B7%D0%B0%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B8%D0%B5)

B5%D0%B6%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B2%D0%B7%D0%B0%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B8%D0%B5

- сбор данных,
- передача данных по сети связи,
- обработка данных,
- ответ на соответствующую информацию.

В зависимости от требований к полосе пропускания, скорости, надежности

передачи, безопасности и задержки сети, связь M2M может быть разной. Одним из подклассов M2M является межмашинное взаимодействие с использованием мобильных решений, для него также может использоваться аббревиатура M2M (англ. *Mobile-to-Mobile*).

2.5.2 Инфраструктура системы M2M

Инфраструктура системы M2M обеспечивает автоматический обмен и обработку данных между подключенными машинами и устройствами. Чаще всего это реализуется путем горизонтальной платформы, которая позволяет подключать и связывать промышленное оборудование, транспортные средства, банкоматы, торговые точки и тому подобное через Интернет. Концепция горизонтальной платформы показана на рисунке 18.

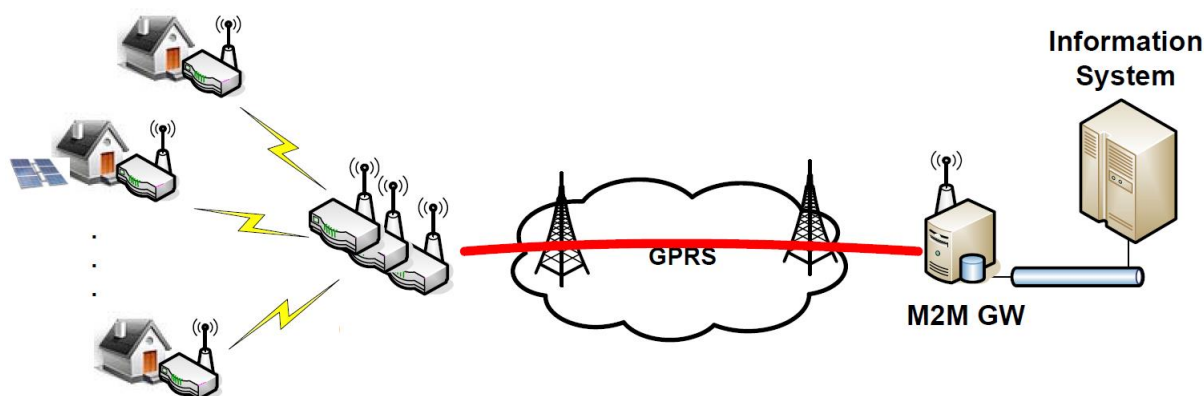
Инфраструктура WAN может находиться в частной собственности или сдаваться в аренду в качестве услуги у стороннего поставщика услуг, такого как оператор связи, поставщик интернет-услуг, частный оператор IP-сети или кабельная компания. Сам сервис может работать по выделенному частному соединению, часто поддерживаемому соглашением об уровне обслуживания,

или по общедоступной общедоступной среде, такой как Интернет. Гибридные глобальные сети используют комбинацию частных и общедоступных сетевых услуг. Программно-определяемая WAN (SD-WAN) предназначена для упрощения развертывания, эксплуатации и управления гибридными архитектурами WAN. Используя комбинацию виртуализации, политик на уровне приложений и сетевых наложений, локальные устройства SD-WAN, программные платформы или абонентское оборудование (CPE) выполняют две функции:

- Они объединяют несколько общих и частных каналов глобальной сети.
- Они автоматически выбирают наиболее оптимальный путь для трафика, основываясь на условиях реального времени⁸⁴. (Rouse, WAN (Wide Area Network), 2019)

⁸⁴ Rouse, M. (08 2019 г.). WAN (Wide Area Network). Получено из TechTarget:

<https://searchnetworking.techtarget.com/definition/WAN-wide-area-network>

Рис. 1.18 Горизонтальная платформа системы M2M⁸⁵Рис. 1.19 Связь M2M⁸⁶

2.5.2.1 Сеть доступа

Роль телекоммуникационных систем состоит в том, чтобы позволить устройствам на физическом уровне подключаться к уровню доступа или основному слою сети. Эти системы могут быть проводными (xDSL, HFC и т. Д.) или беспроводными (2G, 3G, 4G, 5G, LTE, WLAN, WiMAX, спутниковая связь и т. Д.), а тоже могут использовать

технику передачи по линиям электропередачи (Power Line Communication). Протоколы IPv4 и IPv6 используются в качестве протоколов сетевого уровня в связи M2M.

Связь M2M показана на рисунке 19.

2.5.2.2 Капиллярная сеть

Капиллярная сеть в контексте M2M представляет собой набор простых и недорогих устройств, таких как датчики

⁸⁵ Daradkeh, Y., Namiot, D., & Sneps-Snepp, M. (2012). M2M Standards: Possible Extensions for Open API from ETSI. European Journal of Scientific Research, 628-637.

⁸⁶ López, G., Moura, P., Moreno, J. I., & Camacho, J. M. (2014). Multi-Faceted Assessment of a Wireless Communications Infrastructure for the Green Neighborhoods of the Smart Grid. Energies, 3453-3483.

GW – gateway (шлюз)

и исполнительные механизмы, которые обычно реализуются на небольшой площади. Доступ к этим устройствам осуществляется через сеть WAN, шлюз или напрямую. В некоторых случаях они подключаются к локальной сети через IP-концентратор (DSLAM или аналогичный).

Устройства, через которые M2M устройства, датчики и исполнительные механизмы подключаются к сети, могут поддерживать следующие функции:

- взаимодействие нескольких протоколов на уровне физического канала и на уровне сети,
- идентификация узлов,
- преобразование всех типов данных в единый формат,
- объединение данных из нескольких узлов к одному элементу,
- временное хранение данных,
- контроль доступа,
- график взаимодействия сенсорного узла,
- удаленный доступ, обновления программного обеспечения и т. д.

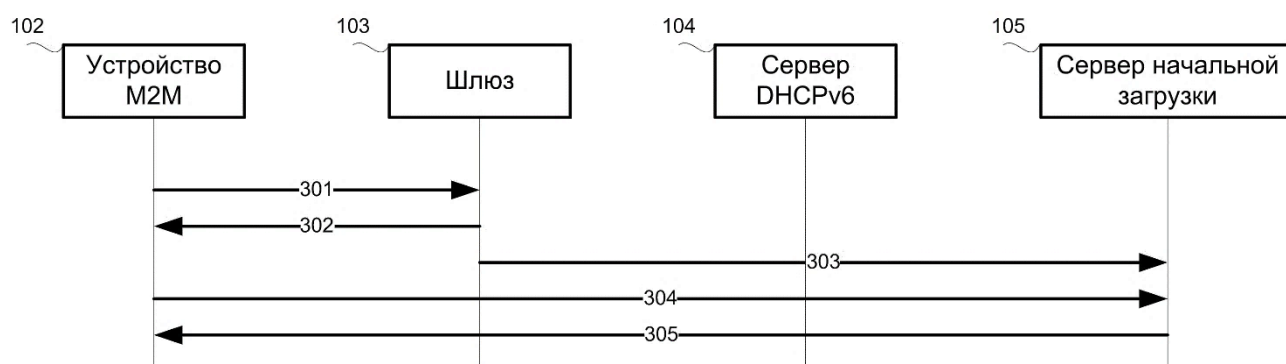


Рис. 1.20 Начальная настройка устройств M2M

Сделано автором на основе (Керянен, Мелен, & Хименес, б.д.)

Теперь будет описано, как устройство M2M конфигурируется с адресом службы. Когда устройство 102 M2M включается в первый раз, оно отправляет многоадресное сообщение для информирования каких-либо слушающих узлов, что оно было включено. Устройство 102 M2M использует локальный групповой адрес линии связи IPv6, который прослушивают все шлюзы, имеющие функциональность DHCPv6. Шлюз 103 на рисунке 1.20 слушает многоадресное сообщение, и он и устройство 102 M2M обмениваются сообщениями, так что

устройство M2M подключается к локальной сети 101 шлюза 103. На следующем этапе, этапе 301, устройство 102 M2M отправляет запрос DHCPv6 шлюзу 103. Запрос предназначен для адреса IPv6. Шлюз 103 конфигурирует адрес IPv6 и назначает его устройству 102 M2M. На следующем этапе, этапе 302, шлюз 103 отправляет ответ DHCPv6 устройству 102 M2M, причем ответ содержит адрес IPv6, назначенный устройству 102 M2M, и адрес службы начальной загрузки управления устройством. Теперь устройство 102 M2M имеет адрес службы начальной

загрузки управления устройством, и поэтому оно может переходить к отправке сообщения серверу 105 начальной загрузки, к которому ведет адрес, чтобы он мог перейти к службе начальной загрузки.⁸⁷

На этапе 303 на фигуре 20 шлюз 103 отправляет сообщение серверу 105 начальной загрузки, который содержит список устройств M2M и их подходящую информацию, которым шлюз 103 отправил адрес службы начальной загрузки управления устройством. Это обеспечивает возможность серверу 105 начальной загрузки продолжать отслеживать устройства M2M, которые будут устанавливать контакт с сервером 105 начальной загрузки, запрашивая его службу начальной загрузки. Теперь устройство M2M может устанавливать контакт с сервером 105 начальной загрузки, как указано на этапе 304, чтобы инициировать процедуру начальной загрузки, этап 305.⁸⁸

На фигуры 21 и 22 описан другой вариант осуществления. В этом примере устройства 402 M2M формируют часть капиллярной сети 401. Устройства 402 M2M также могут осуществлять связь с внешними сетями через капиллярный шлюз 403. Например, капиллярный шлюз 403 может подсоединяться к

капиллярной сети 401 с сотовой сетью, которая, в свою очередь, подсоединяется к инфраструктуре глобальной связи. В этом документе капиллярный шлюз 403 также упоминается как шлюз.

В этом варианте осуществления используется протокол, разработанный открытым мобильным альянсом (OMA), а именно легковесный протокол межмашинной коммуникации (LWM2M). Архитектура LWM2M показана на фигуре 22 и она содержит два компонента; сервер 501 LWM2M и клиент 502 LWM2M. Сервер LWM2M соответствует серверу 405 LWM2M, показанному на фигурах 21 и 22. Клиент 502 LWM2M формирует часть устройства M2M, такого как устройство (устройства) 402 M2M, показанное на фигурах 21 и 22. Сервер 501 LWM2M может иметь интерфейс для начальной загрузки и/или управления устройством, другими словами сервер LWM2M может быть сервером начальной загрузки LWM2M или сервером управления (устройством) LWM2M, однако оба они сконфигурированы с возможностью запуска службы начальной загрузки для устройства M2M как обсуждалось выше по тексту, и поэтому сервер LWM2M должен быть истолкован так же, как и термин "сервер начальной загрузки".⁸⁹

⁸⁷ Керянен, А., Мелен, Я., & Хименес, Х. (б.д.). Устройство и способы для конфигурирования устройства m2m.

Получено 19 03 2020 г., из FindPatent.ru: <https://findpatent.ru/patent/270/2705453.html>

⁸⁸ Там же

⁸⁹ Там же

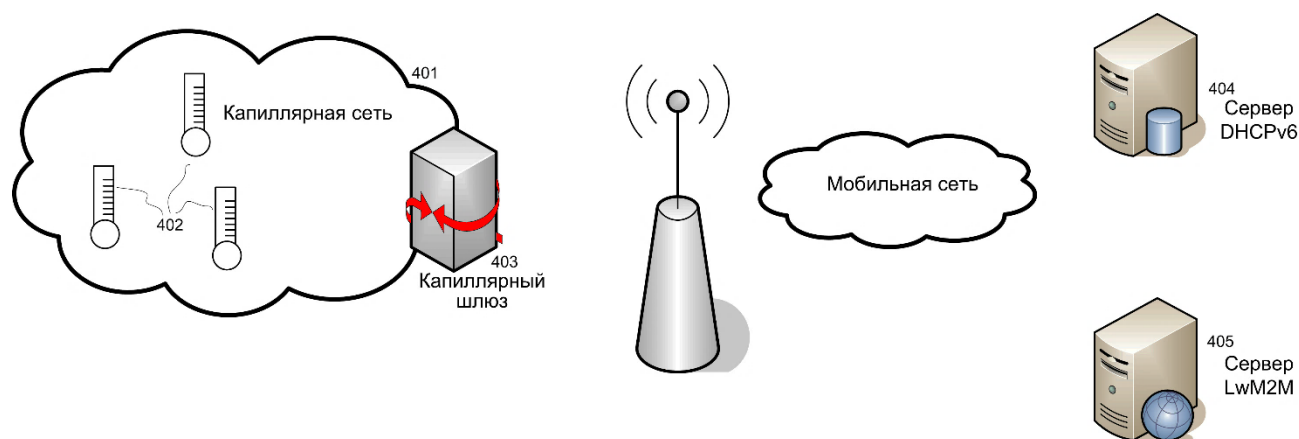


Рис.1.21 Настройка устройств M2M через капиллярную сеть

Сделано автором на основе (Керянен, Мелен, & Хименес, б.д.)



Рис. 1.22 Архитектура LWM2M

Сделано автором на основе (Керянен, Мелен, & Хименес, б.д.)

2.5.2.3 WAN сети

Широкая сеть (WAN) является географически распределенной сетью частных телекоммуникаций, которая связывает несколько локальных вычислительных сетей (LAN, ЛВС). WAN не ограничен одним конкретным местоположением. Основное назначение сетей WAN в контексте M2M - обмен данными между устройствами M2M

через конечные точки WAN. Соединения WAN могут включать проводные и беспроводные технологии. Услуги проводной WAN могут включать многопротокольную коммутацию по меткам, T1, Carrier Ethernet и коммерческие широкополосные интернет-каналы. Технологии беспроводной глобальной сети могут включать сотовые сети передачи

данных, такие как 4G LTE, а также общедоступные сети Wi-Fi или спутниковые сети⁹⁰.

Сети WAN работают в лицензированном и нелицензированном частотном спектре с использованием беспроводных или проводных технологий, таких как: xDSL, WiMAX, Wi-Fi, Ethernet и другие. Модель трафика сети связи M2M зависит от типа развертывания. Основные функции, которые должна обеспечить сеть WAN⁹¹:

- подключение капиллярных сетей, датчиков и исполнительных механизмов к функциям предоставления услуг M2M. Стандартная модель связи - TCP / IP.
- получение и доставка различных типов пакетов, таких как SMS.
- управление идентификацией внутри и снаружи ячейки, используемой для предоставления доступа к определенному ресурсу WAN.

2.5.3 Стандартизация и протоколы в сетях M2M

Наиболее сложной частью реализации решения M2M является взаимодействие компонентов с различными сетями связи. Для правильной и эффективной работы устройства должны корректно общаться и координировать свои действия с другими. Технологии распределенных вычислений, встроенные датчики, современные беспроводные технологии позволяют Интернету вещей выполнять поставленные задачи.

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. В общем случае принята модель взаимодействия устройств в сети Интернета вещей, в которой оконечные устройства, датчики, сенсоры общаются друг с другом (так называемое взаимодействие D2D – Device to Device). В сети Интернет используются сотни протоколов. С процессом внедрения Интернета вещей, ростом устройств, подключенных к сети и расширением спектра возлагаемых на них задач, количество протоколов будет только расти. В связи с этим возникает проблема выбора того или иного протокола. Для решения этой проблемы

⁹⁰ Rouse, M. (08 2019 г.). WAN (Wide Area Network). Получено из TechTarget: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/WAN-wide-area-network>

⁹¹ Radenković, B., Despotović-Zrakić, M., Bogdanović, Z., Barać, D., Labus, A., & Bojović, Ž. (2017). Internet inteligentnih uređaja. Beograd: FON.

важно более детально изучить каждый из них, понимать принцип работы и возможные области применения⁹².

Здесь мы не будем углубляться в более глубокий анализ протоколов, мы просто упомянем некоторые из наиболее важных протоколов M2M и опустим протоколы, используемые сегодня для общих интернет-потребностей, таких как FTP, HTTP, SMTP, DHCP, SSH и т. д.:

- **Asterisk.** Стек различных протоколов (SIP, H.323, MGCP и др.) для мониторинга и управления системой компьютерной телефонии.
- **BACnet** (Building Automation and Control Networks). Открытый протокол автоматизации и управления инженерными сетями.
- **CoAP** (Constrained Application Protocol). Веб-протокол передачи данных для использования в ограниченных узлах и сетях Интернета вещей.
- **DNP3** (Distributed Network Protocol). Протокол передачи данных между объектами сети.
- **EVA-DTS.** Протокол передачи данных для торговых автоматов.
- **GPS/GLONASS и M2M Data.** Система для получения произвольных отчетов от любых спутниковых датчиков и других устройств M2M через протоколы TCP или UDP.
- **МЭК 60870-5-104.** Протокол телемеханики, предназначенный для передачи данных в центры управления.
- **Modbus.** Открытый коммуникационный протокол для обмена данными между сетевыми устройствами, основанный на архитектуре ведущий-ведомый (master-slave).
- **OPC** (OLE for Process Control). Стандарт интерфейсов для совместной работы средств автоматизации, функционирующих на разных аппаратных платформах, в разных промышленных сетях и производимых разными фирмами.
- **Radius** (Remote Authentication Dial In User Service). Протокол службы дистанционной аутентификации пользователей по коммутируемым линиям.
- **SMI-S** (Storage Management Initiative Specification). Стандарт управления дисковыми хранилищами⁹³.

2.5.4 Применение систем M2M

Легко понять, почему у межмашинных коммуникаций так много применений. Благодаря улучшенным датчикам,

беспроводным сетям и расширенным вычислительным возможностям развертывание M2M имеет смысл для

⁹² Москаленко, Т. А., Киричек, Р. В., & Кучерявый, А. Е. (2017). Обзор протоколов интернета вещей. Информационные технологии и телекоммуникации, 5(2), 1-12.

⁹³ Москаленко, Т. А., Киричек, Р. В., & Кучерявый, А. Е. (2017). Обзор протоколов интернета вещей. Информационные технологии и телекоммуникации, 5(2), 1-12.

многих секторов. Энергетические компании, например, используют связь M2M как при сборе энергетических продуктов, таких как нефть и газ, так и при выставлении счетов клиентам. В полевых условиях дистанционные датчики могут определять важные параметры на буровой площадке. Датчики могут передавать информацию по беспроводной сети на компьютер с конкретными сведениями о давлении, расходах и температурах или даже уровнях топлива в оборудовании на месте. Компьютер может автоматически настраивать оборудование на месте для максимальной эффективности.⁹⁴

Управление трафиком - это еще одна динамическая среда, в которой может быть полезна связь M2M. В типичной системе датчики отслеживают такие переменные, как объем трафика и скорость. Датчики отправляют эту информацию на компьютеры, используя специализированное программное обеспечение, которое управляет устройствами управления движением, такими как светофоры и переменные информационные знаки. Используя входящие данные, программное обеспечение манипулирует устройствами управления трафиком, чтобы максимизировать поток трафика.

Исследователи изучают способы создания сетей M2M, которые контролируют состояние инфраструктур, таких как мосты и автомагистрали.⁹⁵

Бизнес также может использовать связь M2M для отслеживания инвентаря и безопасности. Предприятиям, занимающимся городским и пригородным общественным транспортом, а также другим транспортным предприятиям, крупным потребителям топлива, необходим контроль за доставкой топлива для предотвращения и/или сведения к минимуму неправильного использования топлива. Одно из таких решений показано на рисунке 1.23.

Данные о заправке транспортных средств, общем запасе топлива АЗС, водителями транспортных средств и персоналом АЗС выполняются для сбора данных для различных анализов. Такой анализ позволяет проанализировать техническое состояние автомобиля, в конечном итоге, неправильное использование топлива и т. д. Эта технология может быть применена для всех предприятий, которые имеют свои собственные топливные насосы, но также и для других топливных насосов, которые поддерживают безналичный расчет.⁹⁶

⁹⁴ Crosby, T. (24 04 2008 г.). How Machine-to-Machine Communication Works. Получено из Howstuffworks: <https://computer.howstuffworks.com/m2m-communication3.htm>

⁹⁵ Crosby, T. (13 11 2007 г.). \$1 million grant fuels wireless sensor research. Получено из Southern Illinois University News:

<https://news.siu.edu/2007/11/111307tjc7115.php>

⁹⁶ Čekerevac, Z., Matic, S., Djuric, D., & Čelebić, D. (2006). ITGfdc-1 Fuel Dispenser Control System as the Technical Solution for Preventing of Non Authorized Fuel Tanking. Proc. 11th International Scientific Conference devoted to Crises Situations Solution in Specific Environment. Žilina: FSI.

Существуют RFID-решения, которые предоставляют информацию о текущем состоянии запасов, устраняя необходимость периодически проводить инвентаризацию. В то же время можно гарантировать, что товары всегда

доступны покупателям на полках. Можно также предусмотреть автоматический заказ товаров, когда их запасы упадут до заранее определенного уровня. Одно из таких решений показано на рисунке 1.24

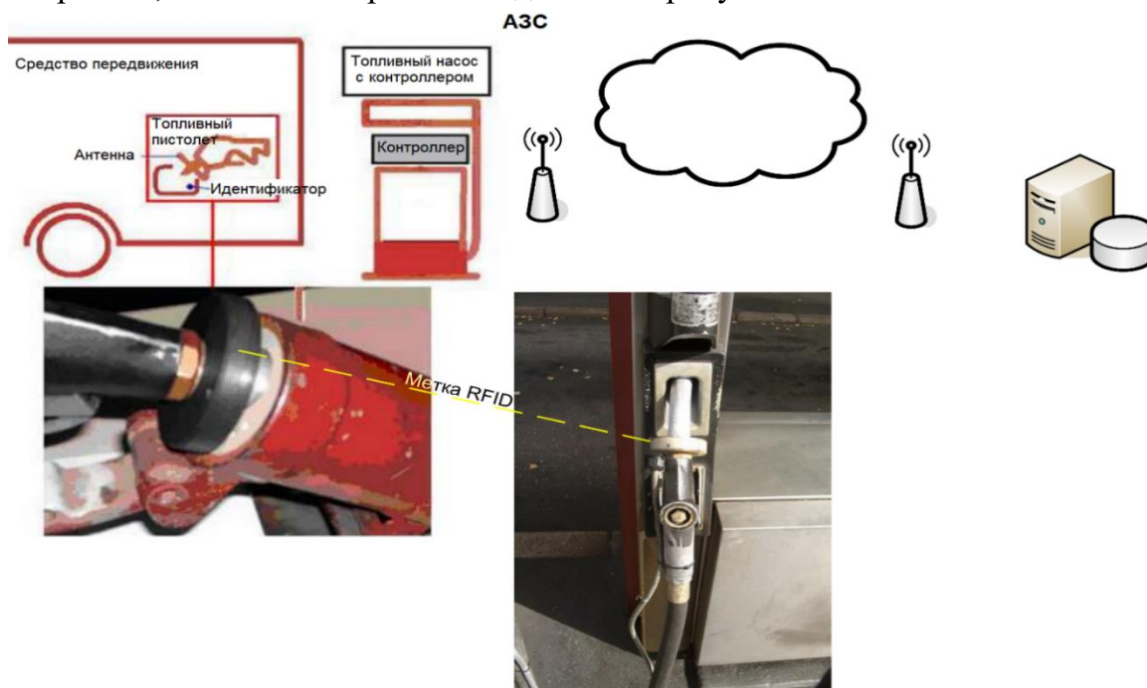


Рис. 1.23 Интеллектуальная АЗС, оснащенная топливным пистолетом с RFID-метками и считывателями и контроллерами подключенными к серверу через Интернет
Сделано авторами на основе (Čekerevac, Matic, Djuric, & Čelebić, 2006)

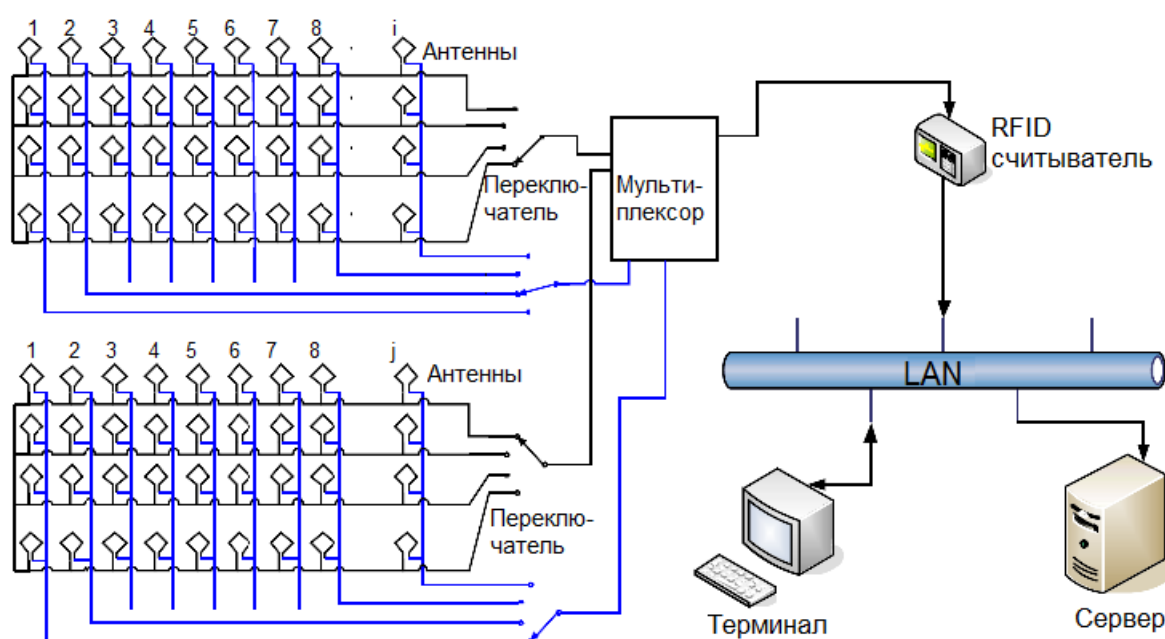


Рис. 1.24 Схематическое изображение SDD ITG «Умная полка» технического решения для применения в хранилищах
Сделано авторами на основе (Čekerevac, Matic, Djuric, Čelebić, & Dvorak, 2010)

На рисунке 1.24 показаны два набора антенн для связи с транспондерами RFID, прикрепленными к денежным пакетам. Количество антенн в одном комплекте и количество комплектов зависит от размера полки. Антенны способны считывать транспондеры на расстоянии до 5 см друг от друга.

Антенны подключаются переключателями к мультиплексору и считывателю RFID, а частота дискретизации составляет до 100 Гц. Один антенный сигнал считывается за раз, так что пакет с подходящим транспондером может быть достоверно идентифицирован. В случае больших полок переключатель подключается непосредственно к считывателю RFID, а для полки используются дополнительные считыватели RFID. Считыватели RFID подключаются к серверу через локальную сеть и IP. Инвентаризация и мониторинг

хранилища осуществляется с терминала, который можно комбинировать с видеонаблюдением.

Антенны расположены в шахматном порядке так, чтобы они равномерно покрывали всю поверхность полок. Каждая антенна расположена в идеальном положении и позволяет считывать сигнал своей собственной и меньшей части соседних полей. В тех случаях, когда транспондер находится в двух или более полях, он сможет считываться двумя или более антеннами. На основании прочитанных им антенн точное положение транспондера легко определяется программным обеспечением и позволяет избежать многократной записи транспондера.

Практически нет ограничений на использование технологии M2M. Скорость развития будет зависеть в основном от воображения людей.

2.6 Программно-определяемые сети

Широкий спектр сетевых технологий, увеличение количества устройств, подключенных к сети, и их ручная настройка делают систему управления сетью сложной. Чтобы преодолеть это и всячески улучшить сеть, реализуются программно-определяемые сети (SDN). Они являются динамичной, управляемой, экономичной и адаптируемой, что делает их идеальным для высокоскоростной, динамической природы современных приложений. Эта архитектура разъединяет функции

управления сетью и пересылки, что позволяет напрямую управлять программированием сети и абстрагировать базовую инфраструктуру для приложений и сетевых служб.

Архитектура SDN⁹⁷:

- **Прямо программируемая.** Управление сетью напрямую программируется, поскольку оно не связано с функциями пересылки.
- **Гибкая.** Абстрагирование управления от переадресации

⁹⁷ onf. (18 03 2019 г.). Software-Defined Networking (SDN) Definition. Получено из

onf: <https://www.opennetworking.org/sdn-definition/>

позволяет администраторам динамически регулировать поток трафика в сети для удовлетворения меняющихся потребностей.

- **Центрально управляемая.** Сетевой интеллект (логически) централизован в программных контроллерах SDN, которые поддерживают глобальное представление о сети, которое представляется приложениям и механизмам политики как единый логический коммутатор.
- **Программно-конфигурированная.** SDN позволяет сетевым менеджерам очень быстро настраивать, управлять, защищать и оптимизировать сетевые ресурсы с помощью динамических автоматизированных программ SDN, которые они могут создавать самостоятельно, поскольку эти программы не зависят от проприетарного программного обеспечения.
- **Открытых стандарт и вендорно-нейтральные.** При реализации через открытые стандарты SDN упрощает проектирование и эксплуатацию сети, поскольку инструкции предоставляются контроллерами SDN, а не несколькими устройствами и протоколами, зависящими от поставщика.

Основными особенностями архитектуры SDN являются:

- Логическая централизация интеллекта (управление сетью отделено от переадресации трафика)
- Программируемость (функция управления в SDN динамически

реализована в программном обеспечении.)

- Абстракция (в SDN пользовательские приложения отделены от других сетевых элементов)

Архитектура SDN, состоит из уровня инфраструктуры, уровня управления и прикладного уровня (рисунок 1.25).

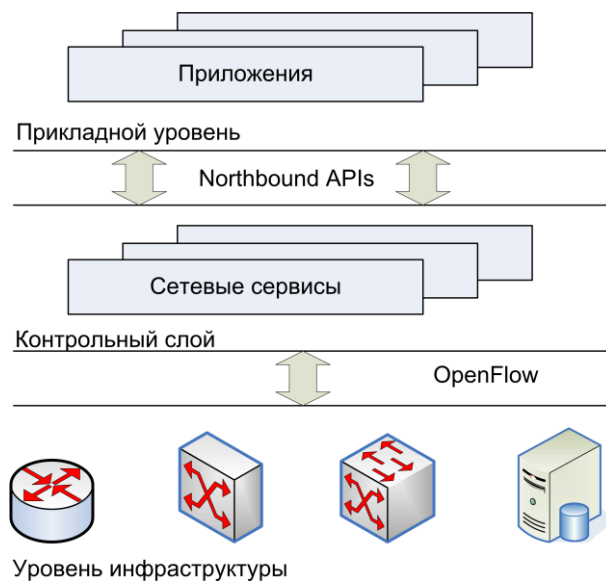


Рис. 1.25 Архитектура SDN

Сделано авторами на основе (Radenković, и др., 2017)

OpenFlow (OF) считается одним из первых стандартов программно-определяемых сетей (SDN). Первоначально он определил протокол связи в средах SDN, который позволяет контроллеру SDN напрямую взаимодействовать с плоскостью пересылки сетевых устройств, таких как коммутаторы и маршрутизаторы, как физических, так и виртуальных (на основе гипервизора), поэтому он может лучше адаптироваться к изменяющимся бизнес-требованиям. Контроллер SDN является «мозгом» сети SDN, передавая информацию на коммутаторы/маршрутизаторы «ниже» (через южные API), а приложения и бизнес-логику

«выше» (через северные API). Недавно, когда организации развернули больше сетей SDN, контроллеры SDN получили задачу объединения между доменами контроллеров SDN, используя общие интерфейсы приложений, такие как OpenFlow и Open vSwitch Database (OVSDB) протокол⁹⁸.

Преимущества OpenFlow:

- программируемость
 - Включить инновации/дифференциации
 - Ускорение внедрения новых функций и услуг
- централизованная разведка
 - Упрощает предоставление
 - Оптимизирует производительность
 - Позволяет детальное управление политикой
 - Абстракция - Разъединение аппаратного и программного обеспечения, контроль планирования и пересылки, а также физических и логических настроек.

Программно-определяемые сети обеспечивают динамическую адаптацию сетевой среды к текущим потребностям приложений или пользователей и реализуются на практике с помощью следующих моделей:

- Реактивные модели (подключение к сетям SDN и протокол OpenFlow)
- Проактивные модели (позволяют предвидеть проблемы в сети и попытаться решить их, прежде чем они станут серьезными)
- Модель прогнозирования (использует исторические данные о производительности сети для периодической корректировки маршрутов и потоков)

Глобальная и централизованная сеть, такая как SDN, обеспечивает более полную и простую политику безопасности, чем традиционные сети. Для защиты от потенциальных угроз в SDN чаще всего используется механизм AuthFlow для контроля доступа и аутентификации.

В конце этого обзора можно сказать, что новые приложения и онлайн-сервисы в IoT предъявляют высокие требования к масштабируемости, надежности и гибкости. Традиционные компьютерные сети с моделью иерархической архитектуры все труднее удовлетворяют их требованиям. Решение - программно-определяемые сети, которые обеспечивают высокую степень программируемости.

2.7 Облачные вычисления и IoT

Использование сенсорных сетей и Интернета интеллектуальных устройств позволило разработать интеллект-

туальные среды и создать базу для разработки сложных структур, таких как интеллектуальные города.

⁹⁸ SDX. (26 08 2013 г.). What is OpenFlow? Definition and How it Relates to SDN. Получено из SDX Central:

<https://www.sdxcentral.com/networking/sdn/definitions/what-is-openflow/>

Управление интеллектуальной средой является сложным процессом и требует масштабируемых, надежных и распределенных вычислительных ресурсов. Их задача - предоставить аппаратную и сетевую инфраструктуру и платформу для разработки и выполнения приложений IoT. Одним из решений, которое может поддерживать разработку и использование приложений IoT, являются облачные вычисления.

Практически каждая крупная ИТ-компания предлагает своё решение. В настоящее время наиболее часто используемыми моделями облачных сервисов являются:

- *IaaS* (Infrastructure-as-a-Service) — инфраструктура как услуга,
- *PaaS* (Platform-as-a-Service) — платформа как услуга,
- *SaaS* (Software-as-a-Service) — программное обеспечение как услуга.

IaaS предоставляет собой самый низкий (аппаратный) уровень и позволяет использование облачной инфраструктуры для самостоятельного управления ресурсами. Обеспечивает наибольшую гибкость, но это наиболее затратный из рассматриваемых вариантов.

PaaS дает возможность использования облачной инфраструктуры для размещения базового программного обеспечения для последующего размещения на нём новых или существующих приложений. Это средний (системный) уровень.

Некоторые из наиболее часто используемых платформ:

- *Xively PaaS* для IoT - онлайн-сервис для разработчиков, разрабатывающих приложения для данных, собранных с датчиков.
- *Carriots PaaS* для IoT - платформа для разработки и хостинга, специально разработанная для M2M интеллектуальных интернет-проектов устройств и связи, которая позволяет собирать данные с подключенных устройств, хранить их и создавать приложения на основе Groovy-кода.
- *ThingWorx PaaS* для IoT Платформа обеспечивает разработку, внедрение и использование приложений IoT. Это прежде всего предназначено для промышленности, но может использоваться в других средах.
- *Aneka PaaS* для IoT - платформа, основанная на технологии NET, используется для вычислительных ресурсов и хранилищ, реализованных в виде публичного или частного облака.

SaaS позволяет использование прикладного ПО провайдера, работающего в облачной инфраструктуре. Это самый высокий (прикладной) уровень, наименее гибкое решение, но дает наиболее быстрый выход на рынок⁹⁹. Программное обеспечение как услуга в IoT обеспечивает использование веб-приложений для работы с датчиками,

⁹⁹ russianiot. (05 06 2016 г.). Облачные сервисы интернета вещей. Получено из RUSSIAN IOT: <https://r->

[iot.org/2016/06/05/облачные-сервисы-интернета-вещей/](https://russianiot.org/2016/06/05/облачные-сервисы-интернета-вещей/)

исполнительными механизмами и другими интеллектуальными устройствами. Решения SaaS для Интернета интеллектуальных устройств

используются более широко, чем решения PaaS, поскольку они не требуют технических знаний от пользователей.

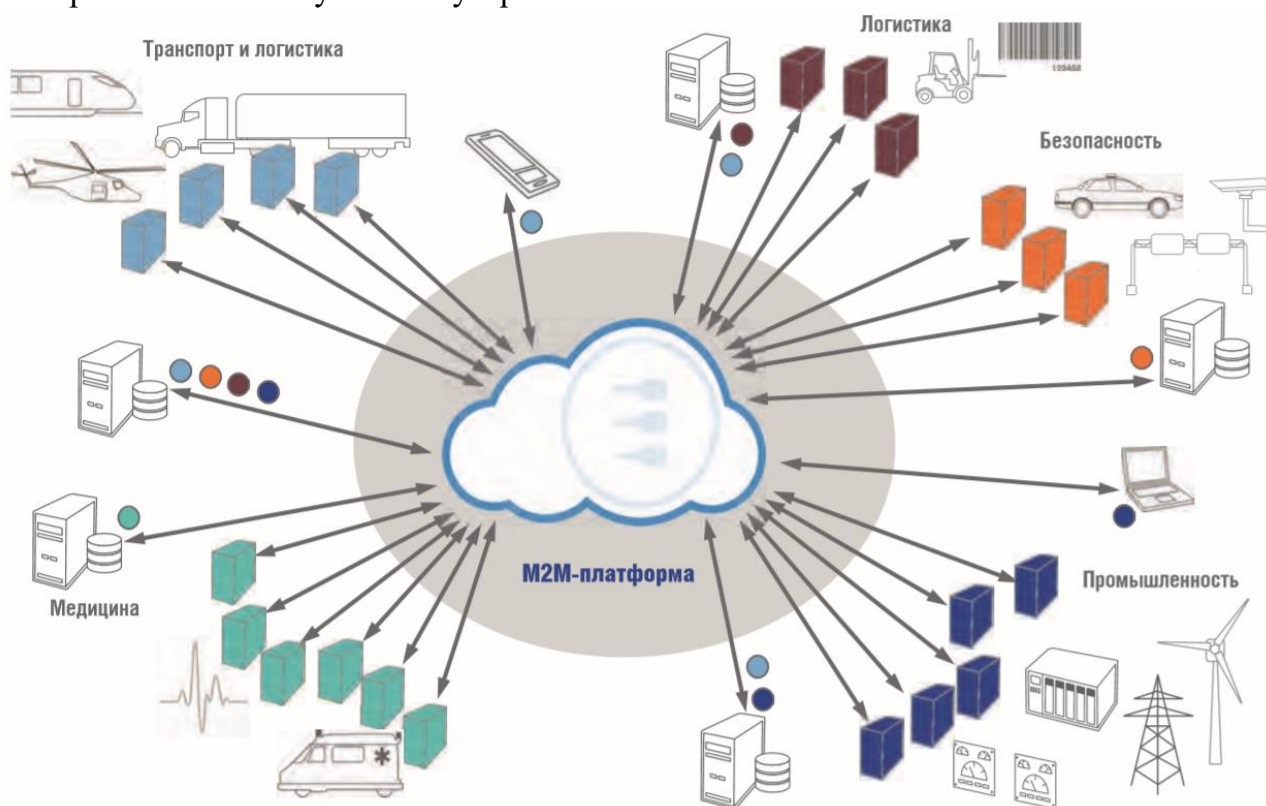


Рис. 1.26 Облачная платформа *Everyware Cloud*¹⁰⁰

Облачные вычисления основаны на технологии виртуализации, которая включает в себя размещение служб и данных в общем динамически масштабируемом наборе ресурсов провайдера. Платформы M2M могут быть реализованы как в публичном, так и в частном облаке, и часто также гибридные облачные решения. Те, которые реализованы в частном облаке, могут иметь дополнительный уровень безопасности. Одно из предложенных решений показано на рисунке 1.26

Интеграция облачных вычислений и устройств IoT возможна из-за повсеместного распространения сенсорных устройств и передачи данных, которые они генерируют. Стратегия управления интеллектуальными устройствами определяется в облаке и создается Cloud Manager модулем, который постоянно взаимодействует с каждым сенсорным устройством в области сенсоров.

В области интеллектуальных интернет-устройств облачные вычисления могут использоваться в качестве

¹⁰⁰ Пятницких, А. (4 2016 г.). Облачные технологии в автоматизации: комплексный подход от Eurotech. Получено из

Обзор/Технологии:
<https://www.prosoft.ru/cms/f/469113.pdf>

инфраструктуры, платформы и программного обеспечения. Так эффективно управляются ресурсы и приложения IoT. Преимущества облачных вычислений: услуги по

требованию, высоко абстрагированная инфраструктура, устойчивость ресурсов, измеримость, масштабируемость и лучшее использование ресурсов.

2.8 Управление цифровыми удостоверениями в облаке

Многие предприятия начали использовать электронный обмен документами в прошлом веке. Они переводили свои документы из текстового редактора в PDF-документы и отправляли их с указанием того, что они действительны без подписей и штампов. Идея состояла в том, чтобы вывести бизнес с бумажного носителя. Но по закону это были только черновики или информационные записки.

На практике было показано, что с ростом коммуникаций потребление бумаги увеличилось. Документы были распечатаны у отправителя, затем подписаны, отсканированы и отправлены получателю. Затем они были распечатаны у получателя, подписаны, отсканированы и возвращены отправителю, где они были перепечатаны и заархивированы.

В настоящее время электронный (безбумажный) документооборот никак не внедрить без цифровых подписей. B2B, B2C компании и государственные организации переходят к внедрению цифровых подписей за их неоспоримые преимущества, как (GlobalSign, 2018):

- Безбумажный документооборот.
- Эффективные бизнес-процессы.

- Взаимодействие внутри организации и с клиентами становится проще.¹⁰¹

В IoT и M2M в целом, из-за количества участников в общении и из-за возможных негативных последствий, надежная идентификация каждого участника чрезвычайно важна. Короче говоря, *цифровая идентификация* - это набор данных, который уникально описывает человека или ресурс. В виртуализированных инфраструктурах цифровая идентификационная информация распространяется и располагается в разных местах, поэтому для ее управления необходимо наличие соответствующих систем.

Архитектура управления идентификацией включает в себя:

- *Хранилище данных.* Это место для хранения идентификационной информации и правил доступа к ресурсам, определенных политикой безопасности.
- *Управление доступом.* Оно включает аутентификацию пользователей (аутентификация) и права доступа к ресурсам (авторизация) и их доступ в режиме реального времени.
- *Управление жизненным циклом идентификационной информации.*

¹⁰¹ GlobalSign. (09 04 2018 г.). Облачные сервисы цифровых подписей. Получено из Хабр:

<https://habr.com/ru/company/globalsign/blog/353084/>

Жизненный цикл цифровой идентичности охватывает стадии возникновения, продолжительности и исчезновения.

С дальнейшим развитием Интернета и IoT растет потребность в более надежной идентификации, а также в увеличенной обработке собранных

данных. Уже сегодня существует так много данных, что зачастую невозможно использовать их традиционными способами обработки данных. Вот почему методы обработки данных, используемые в системах больших данных, становятся все более и более актуальными.

2.9 Большие данные и IoT

Большие данные - это большие, более сложные наборы данных, полученные особенно из новых источников данных. Эти наборы данных настолько обширны, что традиционное программное обеспечение для обработки данных просто не может ими управлять. Но эти огромные объемы данных могут быть использованы для решения проблем бизнеса, которые раньше не удавалось решить.

Большие данные могут помочь в решении целого ряда бизнес-задач, от опыта клиентов до аналитики. Здесь только несколько¹⁰²:

- *Разработка продукта.* Компании могут использовать большие данные для прогнозирования покупательского спроса. Они создают прогностические модели для новых продуктов и услуг, классифицируя ключевые атрибуты прошлых и текущих продуктов или услуг и моделируя взаимосвязь между этими атрибутами и коммерческим успехом предложений.

- *Прогнозирующее обслуживание.* Анализируя признаки потенциальных проблем до того, как они возникнут, организации могут развернуть техническое обслуживание с меньшими затратами и максимально увеличить время бесперебойной работы деталей и оборудования.
- *Опыт клиентов.* Большие данные позволяют собирать данные из социальных сетей, веб-посещений, списки вызовов и других источников, чтобы улучшить взаимодействие и максимально повысить ценность данных, поставлять персонализированные предложения, уменьшить отток клиентов и активно решать проблемы.
- *Мошенничество и соблюдение.* Большие данные помогают идентифицировать шаблоны в данных, которые указывают на мошенничество и собирать большие объемы информации, чтобы значительно ускорить

¹⁰²Oracle. (б.д.). What Is Big Data? Получено 23 03 2020 г., из Oracle:

<https://www.oracle.com/big-data/guide/what-is-big-data.html>

предоставление регулирующей отчетности.

- *Машинное обучение.* Машинное обучение - горячая тема прямо сейчас. Большие данные дают возможность обучать машины, а не программировать их.
- *Операционная эффективность.* Это область, в которой большие данные оказывают наибольшее влияние. С их помощью можно анализировать и оценивать производство, результаты и отзывы клиентов, а также другие факторы для сокращения простоев и прогнозирования будущих потребностей. Большие данные также могут быть использованы для улучшения принятия решений в соответствии с текущим рыночным спросом.
- *Инновации.* Большие данные могут помочь в инновациях, изучая взаимозависимости между людьми, учреждениями, организациями и процессами, а затем определяя новые способы использования этих идей. Есть бесконечные возможности.

Тем не менее, использование больших данных не так просто. Объем доступных данных дублируется с короткими интервалами, и из этого множества трудно сделать соответствующие данные и соответствующие выводы.

Начало работы с большими данными включает три ключевых действия:

1. *Интеграция.* Интеграция больших данных требует новых стратегий и технологий для анализа наборов терабайтов или даже петабайтов. Во время интеграции необходимо ввести данные, обработать их и убедиться, что они отформатированы и доступны в форме, с которой бизнес-аналитики могут начать работу.
2. *Управление.* Большие данные требуют хранения. Решение для хранения может быть облачным, локальным или и тем, и другим. Можно хранить данные в любой форме и предоставлять требуемые требования к обработке и необходимые механизмы процессов в эти наборы данных по требованию.
3. *Анализ.* Инвестиции в большие данные окупаются, когда кто-то анализирует эти данные и воздействует на них, получает новую ясность с помощью визуального анализа различных наборов данных, дополнительно исследует данные, чтобы сделать открытия, делится результатами с другими, строит модели данных с помощью машинного обучения и искусственного интеллекта и вводит их в работу.¹⁰³

Существует целый ряд пользовательских платформ больших данных (Big Data), и некоторые из наиболее популярных¹⁰⁴:

- Actian Avalanche

¹⁰³ Oracle. (б.д.). What Is Big Data? Получено 23 03 2020 г., из Oracle: <https://www.oracle.com/big-data/guide/what-is-big-data.html>

¹⁰⁴ Whiting, R. (25 07 2019 г.). The 10 Coolest Big Data Platforms And Tools Of 2019 (So Far). Получено из CRN: <https://www.crn.com/slide-shows/applications->

- DataStax Constellation
- Domo IoT Cloud
- Fivetran Transformations
- Immuta Automated Data Governance Platform
- MongoDB Atlas Data Lake и т. д.

Несомненно, из-за большого разброса IoT-устройств многие новые выделенные платформы будут появляться.

2.9.1 Hadoop рамки для больших данных

Проект Apache™ Hadoop® разрабатывает программное обеспечение с открытым исходным кодом для надежных, масштабируемых, распределенных вычислений. Программная библиотека Apache Hadoop - это структура, которая позволяет распределенную обработку больших наборов данных по кластерам компьютеров с использованием простых моделей программирования. Он предназначен для масштабирования от отдельных серверов до тысяч машин, каждый из которых предлагает локальные вычисления и хранилище. Вместо того, чтобы полагаться на аппаратные средства для обеспечения высокой доступности, сама библиотека предназначена для обнаружения и обработки сбоев на уровне приложений, поэтому предоставляет высокодоступную службу поверх кластера компьютеров, каждый из которых может быть подвержен сбою.¹⁰⁵

os/the-10-coolest-big-data-platforms-and-tools-of-2019-so-far-/1

¹⁰⁵ Apache. (29 10 2019 г.). Apache Hadoop. Получено из Apache Hadoop: <https://hadoop.apache.org/>

Аналитика больших данных использует различные методы, такие как: кластерный анализ, правила ассоциации, классификация, машинное обучение, нейронные сети, сетевой анализ, оптимизация, сегментный анализ, интеграция данных, генетические алгоритмы.

Проект включает в себя:

- *Hadoop Common* - Общие утилиты, которые поддерживают другие модули Hadoop.
- *Hadoop Distributed File System (HDFS™)* - Распределенная файловая система, обеспечивающая высокопроизводительный доступ к данным приложения.
- *Hadoop YARN* - платформа для планирования заданий и управления ресурсами кластера.
- *Hadoop MapReduce* - система на основе YARN для параллельной обработки больших наборов данных.
- *Hadoop Ozone* - хранилище объектов для Hadoop.

Архитектура Hadoop¹⁰⁶.

- Для начала все файлы, переданные в HDFS¹⁰⁷, разбиваются на блоки. Каждый блок реплицируется указанное количество раз в кластере на основе настроенного размера блока и коэффициента репликации.

¹⁰⁶ Kalron, A. (16 01 2020 г.). How do Hadoop and Spark Stack Up? Получено из logz.io: <https://logz.io/blog/hadoop-vs-spark/>

¹⁰⁷ HDFS - Hadoop Distributed File System

Эта информация передается в NameNode, который отслеживает все в кластере. NameNode назначает файлы нескольким узлам данных, на которые они затем записываются. Высокая доступность была введена в 2012 году, что позволило NameNode переключаться на резервный узел для отслеживания всех файлов в кластере.

- Алгоритм MapReduce расположен поверх HDFS и состоит из JobTracker. Как только приложение написано на одном из языков, Hadoop принимает JobTracker, забирает его и распределяет работу (которая может включать в себя все, начиная от подсчета слов и очистки файлов журналов, до выполнения запроса HiveQL поверх данных, хранящихся в хранилище Hive.) прослушивающим TaskTrackers на других узлах.

- YARN распределяет ресурсы, которые запускает JobTracker, и контролирует их, перемещая процессы для большей эффективности. Все результаты этапа MapReduce затем агрегируются и записываются на диск в HDFS.

Многие компании и организации используют Hadoop как для исследований, так и для производства. Hadoop разработан для поддержки пакетной обработки данных и поэтому не подходит для обработки данных в реальном времени. Для обработки данных в режиме реального времени используются Apache Storm или Apache Spark, системы с открытым исходным кодом, которые легко интегрируются с инфраструктурой Hadoop.

2.9.2 Apache Spark

Apache Spark (от англ. spark — искра, вспышка) — фреймворк с открытым исходным кодом для реализации распределённой обработки неструктурированных и слабоструктурированных данных, входящий в экосистему проектов Hadoop. В отличие от классического обработчика из ядра Hadoop, реализующего двухуровневую концепцию MapReduce с хранением промежуточных данных на накопителях,

Spark работает в парадигме резидентных вычислений (англ. in-memory computing) — обрабатывает данные в оперативной памяти, благодаря чему позволяет получать значительный выигрыш в скорости работы для некоторых классов задач¹⁰⁸, в частности, возможность многократного доступа к загруженным в память пользовательским данным делает библиотеку привлекательной для алгоритмов машинного обучения.¹⁰⁹

¹⁰⁸ Xin, R., Rosen, J., Zaharia, M., Franklin, M., Shenker, S., & Stoica, I. (22-27 06 2013 г.). Shark: SQL and Rich Analytics at Scale. SIGMOD'13. Получено из https://amplab.cs.berkeley.edu/wp-content/uploads/2013/02/shark_sigmod2013.pdf

¹⁰⁹ Zaharia, M. (13 02 2012 г.). Spark: In-Memory Cluster Computing for Iterative and Interactive Applications. Получено из NIPS 2011 Big Learning - Algorithms, Systems, & Tools Workshop: <https://www.youtube.com/watch?v=qLvLg-sqxKc>

Проект предоставляет программные интерфейсы для языков Java, Scala, Python, R. Изначально написан на Scala, впоследствии добавлена существенная часть кода на Java для предоставления возможности написания программ непосредственно на Java. Состоит из ядра и нескольких расширений, таких как Spark SQL (позволяет выполнять SQL-запросы над данными), Spark Streaming (надстройка для обработки потоковых данных), Spark MLlib (набор библиотек машинного обучения), GraphX (предназначено для распределённой обработки графов). Может работать как в среде кластера Hadoop под управлением YARN, так и без компонентов ядра Hadoop, поддерживает несколько распределённых систем хранения — HDFS, OpenStack Swift, NoSQL-СУБД Cassandra, Amazon S3¹¹⁰.

Архитектура Spark¹¹¹

Spark работает аналогично Hadoop, за исключением того, что вычисления выполняются в памяти и хранятся там до тех пор, пока пользователь не сохранит их. Первоначально Spark выполняет чтение из файла в HDFS, S3 или другом хранилище файлов в установленный механизм, называемый SparkContext. Вне этого контекста Spark создает структуру, называемую RDD или Resilient Distributed Dataset, которая представляет собой неизменный набор

элементов, с которыми можно работать параллельно.

- По мере создания RDD¹¹² и связанных с ним действий Spark также создает DAG (направленный ациклический граф) для визуализации порядка операций и взаимосвязи между операциями в группе обеспечения доступности баз данных. Каждый DAG имеет этапы и шаги похоже на план объяснения в SQL.
- Так можно выполнять преобразования, промежуточные шаги, действия или заключительные шаги в RDD. Результат данного преобразования попадает в DAG, и не сохраняется на диске, но результат действия сохраняет все данные памяти на диск.
- Новая абстракция в Spark - это DataFrames, которые были разработаны в Spark 2.0 как сопутствующий интерфейс для RDD. Они очень похожи, но DataFrames организуют данные в именованные столбцы, похожие на панды Python или пакеты R. Это делает их более удобными для пользователя, чем RDD, которые не имеют аналогичного набора ссылок на заголовки на уровне столбцов. SparkSQL также позволяет пользователям запрашивать фреймы данных, подобно таблицам SQL, в реляционных хранилищах данных.

¹¹⁰ Wikipedia. (12 03 2020 г.). Apache Spark. Получено из Wikipedia: https://ru.wikipedia.org/wiki/Apache_Spark

¹¹¹ Kalron, A. (16 01 2020 г.). How do Hadoop and Spark Stack Up? Получено из logz.io: <https://logz.io/blog/hadoop-vs-spark/>

¹¹² RDD (resilient distributed dataset) — эластичный распределенный набор данных

2.9.3 Hadoop vs Spark

Hadoop и Spark, эти системы являются двумя наиболее выдающимися распределенными системами для обработки данных на современном рынке. Hadoop используется в основном для работы с диском с парадигмой MapReduce, а Spark - более гибкая, но более дорогая архитектура обработки в памяти. Оба являются проектами верхнего уровня Apache, часто используются вместе и имеют сходство, но важно понимать особенности каждого из них при принятии решения об их реализации¹¹³.

Производительность. Было обнаружено, что Spark работает в 100 раз быстрее в памяти и в 10 раз быстрее на диске. Он также используется для сортировки 100 ТБ данных в 3 раза быстрее, чем Hadoop MapReduce на одной десятой машин. В частности, было обнаружено, что Spark быстрее работает в приложениях машинного обучения, таких как Naïve Bayes и k-means. Однако, если Spark работает на YARN с другими общими службами, производительность может снизиться и привести к утечке памяти в ОЗУ. По этой причине, если у пользователя есть пример использования пакетной обработки, Hadoop считается более эффективной системой.¹¹⁴

Расходы. И Spark, и Hadoop доступны бесплатно как проекты Apache с открытым исходным кодом, что

означает, что можно запустить его с нулевыми затратами на установку. Однако важно учитывать общую стоимость владения, которая включает обслуживание, закупку оборудования и программного обеспечения, а также наем команды, которая понимает администрирование кластера. Общее правило для предварительной установки заключается в том, что Hadoop требует больше памяти на диске, а Spark требует больше оперативной памяти, а это означает, что настройка кластеров Spark может быть более дорогой. Кроме того, поскольку Spark является более новой системой, эксперты в ней встречаются реже и обходятся дороже. Другой вариант - установить с использованием поставщика, такого как Cloudera для Hadoop или Spark для DataBricks, или запустить процессы EMR/MapReduce в облаке с помощью AWS. Сравнение цены может быть сложно, поскольку Hadoop и Spark работают в тандеме, даже на экземплярах EMR, которые настроены для работы с установленным Spark.¹¹⁵

Отказоустойчивость и безопасность. Hadoop обладает высокой отказоустойчивостью, поскольку был разработан для репликации данных на многих узлах. Каждый файл разбивается на блоки и многократно реплицируется на многих компьютерах, обеспечивая

¹¹³ Kalron, A. (16 01 2020 г.). How do Hadoop and Spark Stack Up? Получено из logz.io: <https://logz.io/blog/hadoop-vs-spark/>

¹¹⁴ Там же

¹¹⁵ Kalron, A. (16 01 2020 г.). How do Hadoop and Spark Stack Up? Получено из logz.io: <https://logz.io/blog/hadoop-vs-spark/>

возможность сбоя одного компьютера из других блоков в другом месте. Отказоустойчивость Spark достигается в основном за счет операций RDD. Первоначально данные в состоянии покоя хранятся в HDFS, которая отказоустойчива благодаря архитектуре Hadoop. Как строится RDD, так и происходит линия, которая помнит, как был создан набор данных, и, поскольку он неизменный, может перестроить его с нуля, если потребуется. Данные через разделы Spark также могут быть перестроены по узлам данных на основе DAG. Данные реплицируются между узлами-исполнителями и, как правило, могут быть повреждены в случае сбоя узла или связи между исполнителями и драйверами. И Spark, и Hadoop имеют доступ к поддержке аутентификации Kerberos, но Hadoop имеет более детальные элементы управления безопасностью для HDFS. Apache Sentry, система обеспечения детального доступа к метаданным, является еще одним проектом, специально разработанным для обеспечения безопасности на уровне

HDFS. Модель безопасности Spark в настоящее время скудна, но допускает аутентификацию через общий секрет.

Машинное обучение. Hadoop использует Mahout для обработки данных. Mahout включает кластеризацию, классификацию и пакетную совместную фильтрацию, которые работают поверх MapReduce. Это постепенно прекращается в пользу Samsara, поддерживаемого Scala языка DSL, который позволяет выполнять операции в памяти и алгебраические операции и позволяет пользователям писать свои собственные алгоритмы. Spark имеет библиотеку машинного обучения MLlib, предназначенную для использования в итеративных программах машинного обучения в оперативной памяти. Доступно на Java, Scala, Python или R, включает классификацию и регрессию, а также возможность создавать конвейеры машинного обучения с настройкой гиперпараметров.

3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предполагалось, что уже в 2020 году 50 миллиардов устройств будут подключены к Интернету. Такое массовое распространение Интернета вещей вызовет большую разницу между нынешним пониманием Интернета, которое сводится к «доткомам», «социальным сетям» и «веб-опытам» и новым Интернетом, который готов приобретать новые и революционные приложения, способные значительно улучшить качество жизни. Устройства

умного дома в рамках умной сети могут реагировать на внешние команды и координировать свою работу. Например, в ситуациях пиковой нагрузки электрической сети, чтобы избежать перегрузки, бытовые приборы могли бы уменьшить свое собственное потребление и, возможно, временно отключиться, если это не ставит под угрозу их задачи. Уже сегодня в тренажерных залах есть устройства, которые записывают параметры сердца

спортсмена и другие параметры, которые они загружают с машины, на которой тренируется стажер, затем обрабатывают зарегистрированные данные на компьютере и отображают результаты тренировки на дисплее. Это может оптимизировать тренировку и помочь достичь лучших результатов. Существуют также устройства, которые могут измерять уровень сахара в крови и при необходимости активировать инсулиновые помпы. Возможности здесь практически безграничны¹¹⁶.

Таким образом, IoT - это система взаимосвязанных вычислительных устройств, механических и цифровых машин, объектов, животных и/или

людей, которые имеют уникальные идентификаторы и способность передавать данные по сети без необходимости взаимодействия человека или человека с компьютером¹¹⁷. В рамках IoT появилась группа IIoT, которая отличается от других IoT тем, что она относится к вещам, оборудованию и программному обеспечению, которые предназначены для работы в промышленной среде и, следовательно, требуют надежности, точности, безопасности, совместимости и все остальное, что должно обеспечивать качественную и надежную и безопасную работу предприятия.¹¹⁸ Обе категории развиваются параллельно и быстро.

4 СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Apache. (29 10 2019 г.). Apache Hadoop. Получено из Apache Hadoop: <https://hadoop.apache.org/>
2. Baccelli, E. (2018, Apr 4). RIOT an Open Source Operating System for Low-end IoT Devices. Retrieved from SILECS: www.silecs.net/wp-content/uploads/2018/04/2018-04FIT-IoT-Lab-Grid5000-school-Baccelli.pdf
3. Cekerevac, Z., Dvorak, Z., & Pecnik, T. (2020, July 15). Top seven IoT operating systems in mid-2020. (Z. Cekerevac, Ed.) MEST Journal, 8(2), 47-68. doi:10.12709/mest.08.08.02.06
4. Cekerevac, Z., Prigoda, L., & Maletic, J. (2018, July 15). Blockchain Technology and Industrial Internet of Things in the Supply Chains. (Z. Cekerevac, Ed.) MEST Journal, 6(2), 39-47. doi:10.12709/mest.06.06.02.05

¹¹⁶ Čekerevac, Z., Dvorak, Z., Prigoda, L., & Čekerevac, P. (2017). Čovek-u-sredini napadi i Internet stvari. FBIM Transactions, 5(2), 18-28. doi:10.12709/fbim.05.05.02.03

¹¹⁷ Wigmore, I. (July 2016 г.). Internet of Things (IoT). Получено из TechTarget - IoT Agenda:

<https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>

¹¹⁸ Cekerevac, Z., Prigoda, L., & Maletic, J. (2018, July 15). Blockchain Technology and Industrial Internet of Things in the Supply Chains. (Z. Cekerevac, Ed.) MEST Journal, 6(2), 39-47. doi:10.12709/mest.06.06.02.05

- 5.Chin, W. S., Kim, H.-s., Heo, Y. J., & Jang, J. W. (2015). A Context-based Future Network Infrastructure for IoT Services. *Procedia Computer Science*, 266-270.
- 6.Chowdhury, R. (2020). Top 15 Best IoT Operating System For Your IoT Devices in 2020. Получено из Ubuntu pit: <https://www.ubuntupit.com/best-iot-operating-system-for-your-iot-devices/>
- 7.Clark, J. (17 11 2016 г.). What is the Internet of Things? Получено из IBM: <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/what-is-the-iot/>
- 8.Crosby, T. (13 11 2007 г.). \$1 million grant fuels wireless sensor research. Получено из Southern Illinois University News: <https://news.siu.edu/2007/11/111307tjc7115.php>
- 9.Crosby, T. (24 04 2008 г.). How Machine-to-Machine Communication Works. Получено из Howstaffworks: <https://computer.howstuffworks.com/m2m-communication3.htm>
- 10.Cunha, M. A., Przeybilovicz, E., Macaya, J. F., & Burgos, F. (2016). Smart Cities - Transformação digital de cidades. Sao Paulo: PGPC.
- 11.Čekerevac, Z., Dvorak, Z., Prigoda, L., & Čekerevac, P. (2017). Čovek-u-sredini napadi i Internet stvari. *FBIM Transactions*, 5(2), 18-28. doi:10.12709/fbim.05.05.02.03
- 12.Čekerevac, Z., Matic, S., Djuric, D., & Čelebić, D. (2006). ITGfdc-1 Fuel Dispenser Control System as the Technical Solution for Preventing of Non Authorized Fuel Tanking. *Proc. 11th International Scientific Conference devoted to Crises Situations Solution in Specific Environment*. Žilina: FSI.
- 13.Čekerevac, Z., Matić, S., Djurić, D., Čelebić, D., & Dvorak, Z. (2010). SDD ITG 'smart shelf' RFID rešenje za inventarisanje robe na udaljenim policama [Eng. SDD ITG smart shelf RFID solution for the stocktaking of goods on remote shelves]. *IMK-14 - Istraživanje i razvoj*, 47-52.
- 14.Daradkeh, Y., Namiot, D., & Sneps-Snepe, M. (2012). M2M Standards: Possible Extensions for Open API from ETSI. *European Journal of Scientific Research*, 628-637.
- 15.Derene, G. (30 01 2009 г.). How to Control Your Home with your Cell Phone. Получено из Popular Mechanics: http://www.popularmechanics.com/home_journal/home_improvement/4301977.html
- 16.EC. (19 03 2018 г.). Free Wi-Fi for Europeans. Получено из WiFi4EU: <https://audiovisual.ec.europa.eu/en/video/I-152883>
- 17.EC. (6 6 2018 г.). Regulation of the European Parliament and of The Council - establishing the Digital Europe programme for the period 2021-2027. Получено из European Commission: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52018PC0434&from=EN>
- 18.EC. (04 07 2019 г.). Commission launches work on major research and innovation missions for cancer, climate, oceans and soil. Получено из European Commission:

- https://ec.europa.eu/info/news/commission-launches-work-major-research-and-innovation-missions-cancer-climate-oceans-and-soil-2019-jul-04_en
- 19.EC. (17 04 2019 г.). Horizon Europe - the next research and innovation framework programme. Получено из European Commission: https://ec.europa.eu/info/horizon-europe-next-research-and-innovation-framework-programme_en
- 20.EIP-SCC. (2019). Citizen Focus - Description. Получено из eu-smartcities: <https://eu-smartcities.eu/clusters/3/description>
- 21.Electricalvoice. (2020). Smart Sensors | Block Diagram,Architecture & Applications. Получено из Electricalvoice: <https://electricalvoice.com/smart-sensors-block-diagramarchitecture-applications/>
- 22.Evans, D. (Apr 2011 г.). The Internet of Things - How the Next Evolution of the Internet Is Changing Everything. Получено из Cisco - White Paper: http://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf
- 23.GlobalSign. (09 04 2018 г.). Облачные сервисы цифровых подписей. Получено из Хабр: <https://habr.com/ru/company/globalsign/blog/353084/>
- 24.Hartog, E., & et al. (9 12 2019 г.). Smart Cities - Smart Living. Получено из European Commission - Digital Single Market - Policies: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/smart-cities>
- 25.Hinden, R. (02 2006 г.). IP Version 6 Addressing Architecture. Получено из IETF Tools: <https://tools.ietf.org/html/rfc4291#section-2.5.6>
- 26.IEEE. (07 12 2016 г.). 802.11-2016 - IEEE Standard for Information technology. Получено из IEEE Standards Association: https://standards.ieee.org/standard/802_11-2016.html
- 27.IEEE SA. (06 02 2012 г.). 802.15.4f-2012 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-- Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) Amendment 2: Active Radio Frequency Identification (RFID) System Physical Layer (PHY). Получено из IEEE Standards Association: https://standards.ieee.org/standard/802_15_4f-2012.html
- 28.ITU. (22 02 2017 г.). ITU towards “IMT for 2020 and beyond”. Получено из International Telecommunications Union: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx>
- 29.Ivankov, A. (2019, Aug 23). Ubuntu Operating System: Advantages and Disadvantages. Retrieved from Profolus: <https://www.profolus.com/topics/ubuntu-operating-system-advantages-and-disadvantages/>
- 30.Kalron, A. (16 01 2020 г.). How do Hadoop and Spark Stack Up? Получено из logz.io: <https://logz.io/blog/hadoop-vs-spark/>

- 31.Kinney, P. (27 01 2010 г.). IEEE 802.15 WPAN™ Task Group 4 (TG4). Получено из IEEE 802.15: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>
- 32.KNX. (27 11 2019 г.). Получено из Wikipedia: <https://ru.wikipedia.org/wiki/KNX>
- 33.LonWorks. (11 07 2019 г.). Получено из Wikipedia: <https://ru.wikipedia.org/wiki/LonWorks>
- 34.López, G., Moura, P., Moreno, J. I., & Camacho, J. M. (2014). Multi-Faceted Assessment of a Wireless Communications Infrastructure for the Green Neighborhoods of the Smart Grid . Energies, 3453-3483.
- 35.M2M. (20 10 2018 г.). Межмашинное взаимодействие. Получено из Википедия: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D0%B6%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B2%D0%B7%D0%B0%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B8%D0%B5
- 36.Maddox, T. (16 07 2018 г.). Smart cities: A cheat sheet. Получено из TechRepublic: <https://www.techrepublic.com/article/smart-cities-the-smart-persons-guide/>
- 37.Mike. (26 04 2019 г.). Что такое беспроводная сенсорная сеть (WSN): структура, классификация, топологии. Получено из <http://digitrode.ru>: <http://digitrode.ru/articles/2015-что-такое-беспроводная-сенсорная-сеть-wsn-структура-классификация-топологии.html>
- 38.Mouser. (23 06 2015 г.). The Internet of Things Hits Its Stride. Получено из EEweb: <https://www.eeweb.com/profile/mouser/articles/the-internet-of-things-hits-its-stride>
- 39.onf. (18 03 2019 г.). Software-Defined Networking (SDN) Definition. Получено из onf: <https://www.opennetworking.org/sdn-definition/>
- 40.Oracle. (б.д.). What Is Big Data? Получено 23 03 2020 г., из Oracle: <https://www.oracle.com/big-data/guide/what-is-big-data.html>
- 41.Osseiran, A., Boccardi, F., Braun, V., Kusume, K., Marsch, P., Maternia, M., . . . Schotten, H. (2014). Scenarios for 5G mobile and wireless communications: the vision of the METIS project. IEEE Communications Magazine, 26-35.
- 42.Postel, J. (01 1980 г.). DOD Standard - Internet Protocol. Получено из IETF Tools: <https://tools.ietf.org/html/rfc760>
- 43.Radenković, B., Despotović-Zrakić, M., Bogdanović, Z., Barać, D., Labus, A., & Bojović, Ž. (2017). Internet inteligentnih uređaja. Beograd: FON.
- 44.Rameh, H., Tran, C.-T., Zoughaib, A., Evans, M.-A., & Gourlia, J.-P. (2017). Optimal Sensor Network Design to Monitor the Energy Performances of a Process Plant. В Computer Aided Chemical Engineering (стр. 1507-1512).

- <https://www.sciencedirect.com/bookseries/computer-aided-chemical-engineering/vol/40/suppl/C?page=3>.
- 45.Reynolds, J. (01 2002 г.). Assigned numbers. Получено из Network Working Group Request for Comments: 3232: <https://tools.ietf.org/html/rfc790>
- 46.Rouse, M. (12 2018 г.). microcomputer. Получено из IoT Agenda: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/microcomputer>
- 47.Rouse, M. (08 2019 г.). WAN (Wide Area Network). Получено из TechTarget: <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/WAN-wide-area-network>
- 48.russianiot. (05 06 2016 г.). Облачные сервисы интернета вещей. Получено из RUSSIAN IOT: <https://r-iot.org/2016/06/05/облачные-сервисы-интернета-вещей/>
- 49.SDX. (26 08 2013 г.). What is OpenFlow? Definition and How it Relates to SDN. Получено из SDX Central: <https://www.sdxcentral.com/networking/sdn/definitions/what-is-openflow/>
- 50.Senior. (21 10 2019 г.). Современные IoT контроллеры и микрокомпьютеры. Получено из Senior: <https://senior.ua/articles/sovremennye-iot-kontrollery-i-mikrokompyutery>
- 51.Sridhar, S., Oulasvirta, A., & Theobalt, C. (10 2014 г.). Fast Tracking of Hand and Finger Articulations Using a Single Depth Camera. Получено из <https://cs.stanford.edu/people/ssrinath/pubs/MPI-I-2014-4-002.pdf>
- 52.Sumner, V., Kontinakis, N., Boni, A. L., & Guri, N. (03 2016 г.). Green Digital Charter for cities and citizens. Получено из Green Digital Charter: <http://www.greendigitalcharter.eu/wp-content/uploads/2016/04/D2.1-Updated-GDC.pdf>
- 53.Thibodeau, P. (18 04 2014 г.). Can we talk? Internet of Things vendors face a communications 'mess'. Получено из Computerworld: <https://www.computerworld.com/article/2488373/can-we-talk--internet-of-things-vendors-face-a-communications--mess-.html>
- 54.Ubuntu. (2020). Ubuntu Core documentation. Retrieved from Ubuntu for IoT Developers documentation: <https://docs.ubuntu.com/core/en/>
- 55.UDP. (15 01 2020 г.). Получено из Wikipedia: <https://ru.wikipedia.org/wiki/UDP>
- 56.UN. (16 05 2018 г.). 68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN. Получено из United Nations Department of Economic and Social Affairs: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>
- 57.Vasseur, J.-P., & Dunkels, A. (2010). What Are Smart Objects? Получено из <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/wireless-sensor-networks>

58. Whiting, R. (25 07 2019 г.). The 10 Coolest Big Data Platforms And Tools Of 2019 (So Far). Получено из CRN: <https://www.crn.com/slide-shows/applications-os/the-10-coolest-big-data-platforms-and-tools-of-2019-so-far-/1>
59. Wigmore, I. (July 2016 г.). Internet of Things (IoT). Получено из TechTarget - IoT Agenda: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>
60. Wikipedia. (28 11 2019 г.). Sensor node. Получено из Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Sensor_node
61. Wikipedia. (28 07 2019 г.). WiMAX. Получено из Wikipedia: <https://ru.wikipedia.org/wiki/WiMAX>
62. Wikipedia. (12 03 2020 г.). Apache Spark. Получено из Wikipedia: https://ru.wikipedia.org/wiki/Apache_Spark
63. Xin, R., Rosen, J., Zaharia, M., Franklin, M., Shenker, S., & Stoica, I. (22-27 06 2013 г.). Shark: SQL and Rich Analytics at Scale. SIGMOD'13. Получено из https://amplab.cs.berkeley.edu/wp-content/uploads/2013/02/shark_sigmod2013.pdf
64. Zaharia, M. (13 02 2012 г.). Spark: In-Memory Cluster Computing for Iterative and Interactive Applications. Получено из NIPS 2011 Big Learning - Algorithms, Systems, & Tools Workshop: <https://www.youtube.com/watch?v=qLvLg-sqxKc>
65. Бителева, А. (08 2002 г.). Технологии мультимедийного доступа. Журнал «Теле-Спутник», 8(82).
66. Википедия. (22 11 2019 г.). IEEE 802.15.4. Получено из Википедия: https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4
67. Википедия. (05 03 2020 г.). ZigBee. Получено из Википедия: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ZigBee>
68. Вишневский, В. (2005). Широкополосные беспроводные сети передачи данных. М: Техносфера.
69. ЕТФ. (2020). Микроконтролеры. Получено из Электротехники факультет - Катедра за электронику: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oolue/predavanja/P6.pdf>
70. Ионова, А. (03 02 2017 г.). Обзор протоколов беспроводной связи для Интернета вещей. Получено из iot: <https://iot.ru/promyshlennost/obzor-protokolov-besprovodnoy-svyazi-dlya-interneta-veshchey>
71. ИТМиВТ. (02 05 2007 г.). Сенсорные сети. Получено из Институт точной механики и вычислительной техники им. С. А. Лебедева: www.ipmce.ru/img/release/sensor.pdf
72. Керянен, А., Мелен, Я., & Хименес, Х. (б.д.). Устройство и способы для конфигурирования устройства m2m. Получено 19 03 2020 г., из FindPatent.ru: <https://findpatent.ru/patent/270/2705453.html>

- 73.Козлова, Е. (2012). Датчики. Классификация, принципы работы, характеристики. Получено из DocPlayer: <https://docplayer.ru/39998255-8-datchiki-klassifikaciya-principy-raboty-harakteristiki.html>
- 74.Москаленко, Т. А., Киричек, Р. В., & Кучерявый, А. Е. (2017). Обзор протоколов Интернета вещей. Информационные технологии и телекоммуникации, 5(2), 1-12.
- 75.Пятницких, А. (4 2016 г.). Облачные технологии в автоматизации: комплексный подход от Eurotech. Получено из Обзор/Технологии: <https://www.prosoft.ru/cms/f/469113.pdf>
- 76.Слюсар, В. (2018). Развитие схемотехники ЦАР: некоторые итоги. Электроника: наука, технология, бизнес(1), 72-77. Получено из http://slyusar.kiev.ua/Slyusar1_2018_LP.pdf
- 77.Электросам. (2020). Актуаторы. Виды и устройство. Работа и применение. Особенности. Получено из Электросам.Ру: <https://electrosam.ru/glavnaja/jelektrooborudovanie/ustrojstva/aktuary/>