

РАЗДЕЛ 2 Обзор технологий передачи данных для приложений дополненной реальности

Появление такого разнообразного и внушительного числа новых услуг и приложений, рассмотренных в предыдущих разделах данной главы, привело к давно назревавшей эволюции сетей связи и принципиальным изменениям в её структуре [153]. В начале XXI века многие работы были посвящены исследованиям в области пакетных сетей, в том числе сетей связи следующего поколения NGN (Next Generation Network) [154 – 160]. На базе NGN была создана Всемирная пакетная сеть связи, объединившая различные транспортные технологии и технологии широкополосного доступа, протоколы и услуги. В тоже время развитие современных сетей сотовой подвижной связи в направлении 4-го поколения [161], создало основу для стремительного развития и внедрения услуг подвижной связи. В тоже время, системы с пакетной коммутацией длительной эволюции LTE (Long Term Evolution), обладая существенно большей скоростью на уровне доступа и меньшими задержками, позволило осуществить создание гетерогенных сетей, которые отличаются от традиционных тем, что используются не только терминалы сотовых сетей, но и различные узлы других беспроводных сетей, например, сенсорных или автомобильных сетей связи [162 - 166]. В рамках исследований сетей связи четвертого поколения можно встретить много прорывных на тот момент работ, посвященных гетерогенным сетям [167 - 172].

Однако, появление таких концепций как Интернет Вещей, Тактильный Интернет, Интернет навыков и, конечно, дополненной реальности показало, что достигнутые успехи недостаточны в современных условиях и необходимо разрабатывать принципиально новый подход к организации сетей связи, основанный на тесном взаимодействии фиксированных и мобильных сетей, позволяющих обеспечить выполнение требований к качеству обслуживания и качеству восприятия в условиях сверхплотных сетей с ультрамалыми задержками для широкого круга пользователей. Ответом на поставленную

задачу явилось создание сетей связи пятого поколения, как называют их в 3GPP, или сетей IMT 2020, согласно терминологии МСЭ-Т. Сети пятого поколения представляют из себя интегральную сеть, которая объединяет в себе существующие и перспективные ресурсы фиксированных и сотовых сетей связи [172, 173]. На сегодняшний день можно видеть довольно много исследований в области сетей связи пятого поколения [174 - 185]. Данные сети позволяют осуществлять новый вид коммутации, который существенно уменьшает нагрузку на ядро сети, за счет того, что взаимодействие осуществляется напрямую между двумя устройствами. Этот вид коммуникаций получил название «устройство-устройство» или D2D (Device-to-Device) и сегодня активно исследуется различными научными сообществами [186 - 196]. Реализация данного взаимодействия существенно расширяет возможности дополненной реальности, поскольку многие приложения ориентированы на предоставление информации об объекте в поле зрения пользователя, т.е. нет необходимости постоянно обращаться к серверу и задействовать сеть связи, достаточно напрямую получить информацию об этом объекте, например, о продукте в магазине. Кроме того, такой тип взаимодействия экономит расход сетью электроэнергии, поскольку базовые станции в таком обмене не участвуют [197]. В условиях высокой плотности устройств, по прогнозам в ближайшем будущем она составит 1 миллион устройств на 1 кв. км, данный аспект приобретает ключевую роль. Так международная организация IEEE разработала семейство стандартов LPWAN (Low Power Wide Area Networks), которые можно отнести к системам с экономичным расходом электроэнергии, работающим на большие расстояния в крупномасштабных сетях [198]. Для сетей пятого поколения технология LPWAN решает ряд важных задач, в частности возможность подключения групп пользователей, находящихся на удаленном расстоянии, а также обеспечение связности для быстро движущихся объектов [199 - 201].

Далее в данной главе дается краткий обзор перспективных радиотехнологий для приложений дополненной реальности.

1.3.1 Обзор перспективных радиотехнологий дополненной реальности

В настоящее время технология дополненной реальности применяется во многих областях жизни и производства людей, таким образом существует огромное число устройств, как промышленного, так и бытового характера, которые необходимо подключить к сети связи для выполнения различных задач, например, сбор и передача данных, обмен данными и т.д. В зависимости от поставленных целей и задач, а также технических возможностей устройств выбирается та или иная радиотехнология. Для работы некоторых приложений ДР достаточно небольшой пропускной способности, а интервал отправки данных может варьироваться от нескольких миллисекунд до дней. Другие же приложения, наоборот, предъявляют высокие требования к пропускной способности и задержке, т.к. передают видео. Наиболее многообещающими технологиями передачи данных для реализации приложений дополненной реальности являются беспроводные технологии, которые обеспечивают мобильность как пользователей, так и узлов сети, работу на дальние расстояния в условиях большой плотности устройств, а также надежность и достоверность переданных данных. С учетом повсеместного использования приложений ДР одним из ключевых параметров является энергопотребление, так как в ряде случаев требуется обеспечить автономность работы на длительное время или обслуживать большое число запросов с высокой интенсивностью. Таким образом, выбор радиотехнологии должен обуславливаться требованиями по скорости передачи, времени автономной работы и частотному диапазону. К тому же при выборе радиотехнологии необходимо учитывать целевое назначение приложения, это может быть мониторинг или развлекательная игра, управление сложной техникой или добавление информации к экспонату в музее, медицинские приложения или образовательные, от этого зависит определение площади покрытия,

расстояния между устройствами и т.д. Рассмотрим наиболее перспективные с точки зрения реализации приложений ДР радиотехнологии: PAN (IEEE 802.15) – RFID, NFC, ZigBee, Bluetooth; WLAN (IEEE 802.11) – Wi-Fi, Z-Wave; WAN (IEEE 802.20) – LTE-M, 5G, сети LPWAN [203, 204].

1.3.1.1 Технологии RFID/NFC

Технология RFID (Radio Frequency IDentification) активно используется для реализаций приложений Интернета вещей и несомненно подходит для разработки приложений дополненной реальности. RFID базируется на методе однозначной идентификации элементов на основе использования радиоволн. Данная технология описана в нескольких стандартах, а именно, Международной организации по стандартизации (англ. ISO, International Standardization Organization) ISO 14443, ISO 15693, ISO 18000 [205 - 207]. Данная группа стандартов описывает требования к физическим и логическим характеристикам пассивных систем радиочастотной идентификации, метод кодирования, способ хранения и перезаписи информации, процедуры опроса объектов ближнего действия, параметры инициализации передачи, а также частотные диапазоны и расстояния работы.

Структура системы RFID представлена на рисунке 1.30 и включает в себя метку, устройство считывания и антенну. Устройство считывания отправляет запросы метке посредством антенны. В ответе на запрос метка передает уникальные данные о себе.

В зависимости от назначения метки могут быть пассивными и активными. Пассивные метки RFID питаются от устройства считывания, точнее электромагнитной энергией, передаваемой от него в процессе взаимодействия и, соответственно, не имеют собственного источника питания. Данный тип меток работает на максимальное расстояние в 25 м и использует следующие частотные диапазоны: в области низких частот 125-134 кГц, высоких - 13,56 МГц, сверхвысоких от 856 МГц до 960 МГц.

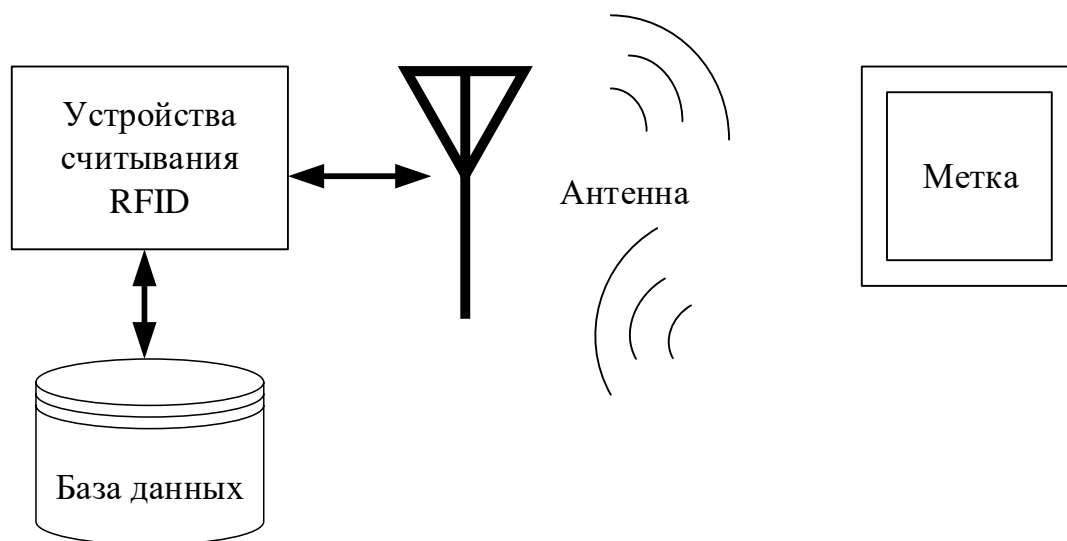


Рисунок 1.30 – Система RFID

В отличие от пассивных меток RFID, активные имеют свой собственный источник питания, что существенно увеличивает расстояние их работы до 100 м, и делает привлекательными для использования по многим приложениям дополненной реальности, это и интерактивная карта города, с возможностью видеть сквозь здания, и отслеживание общественного транспорта в крупных городах, управление робототехническими устройствами. Активные метки работают в диапазонах от 2,4 до 5,8 ГГц или от 3,1 до 10 ГГц.

Стандарт ISO 14443 описывает технологию NFC (Near Field Communication), которая работает на частоте 13,56 МГц. На самом деле NFC практически не отличается от RFID, кроме расширения диапазона работы на высоких частотах. Однако, есть определенные особенности работы. Одной из них является возможность двустороннего обмена данными. Другая особенность – это небольшое расстояние работы, как правило не больше 10 см. И третьей особенностью, отличающей эту технологию от RFID, является ограничение по числу одновременно сканируемых меток, в данном случае допустимо обмениваться информацией только с одной меткой. Основная область применения данной технологии – это обеспечение безопасных мобильных платежей, которые на сегодняшний день используются

повсеместно и не только в умных городах, для обеспечения удобства и скорости розничных торговых операций [208].

1.3.1.2 Технология Bluetooth

Технология Bluetooth 5.0 является на сегодняшний день последней версией стандарта беспроводной связи Bluetooth. Обычно данная технология применяется для взаимодействия смартфонов и беспроводных наушников, клавиатур мышей или другого оборудования в небольшой зоне действия. В последнее время Bluetooth активно применяют для реализации приложений дополненной реальности в рамках концепции города, и приложений Интернета Вещей в рамках реализации умных домов [209, 210].

Стандарт Bluetooth разработан группой Bluetooth SIG (Bluetooth Special Interest Group). Он полностью соответствует формату и структуре стандартов Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE серии 802, группа технологий Bluetooth IEEE 802.15.1.

В отличие от предыдущей версии Bluetooth 5.0 имеет ряд особенностей: увеличение скорости передачи в два раза. В данный момент она может достигать 2 Мбит/с; увеличение дальности передачи в четыре раза за счет применения кодирования данных Coded PHY и Forward Error Correction (FEC); увеличение пропускной способности для широковещательных сообщений в 8 раз.

Более того, Bluetooth 5.0 обеспечивает обратную совместимость с устройствами Bluetooth 4.x, что всегда является преимуществом для пользователей, т.к. не всегда возможен быстрый повсеместный переход на новую версию стандарта. Таким образом, на новых устройствах будут поддерживаться все версии данного стандарта, а вот на более старых пятая версия будет работать не всегда, из-за необходимости поддерживать большую мощность радиоканала.

Одним из примеров использования технологии Bluetooth 5.0 в дополненной реальности можно назвать приложение FoboTag [211]. Данное приложение позволяет отслеживать местоположение человека или животного. Однако, радиус действия приложения ограничен возможностями технологии и составляет 120 м.

Можно утверждать, что технология Bluetooth прочно заняла свою нишу и является одной из самых популярных технологий PAN (Personal Area Network). На сегодняшний день она может обеспечить подключение до 255 устройств в диапазоне 2,4 ГГц и скорость передачи данных до 24 Мбит/с.

Однако, следует сказать несколько слов и о версии Bluetooth 4.0 или BLE (Bluetooth Low Energy), которая была разработана в 2010 специально для поддержки приложений Интернета Вещей. Данный стандарт работает на частоте 2,4 ГГц, обеспечивает скорость передачи до 1 Мбит/с, и использует 40 каналов по 2 МГц каждый. Также BLE позволяет организовать локальную систему позиционирования внутри помещения.

Одной из особенностей стандарта BLE является способность устройств взаимодействовать в синхронном режиме работы. Это крайне важное свойство для приложений ДР и ИВ, т.к. устройства могут находиться в режиме покоя 99% времени, и при необходимости просыпаться на короткий промежуток времени, только, чтобы обменяться данными с другим устройством и после этого обратно засыпают. Для того, чтобы реализовать данную функцию, необходимо осуществить процедуру синхронизации.

В основе технологии Bluetooth лежит концепция пикосетей, под которой понимают расположение на заданной области небольших базовых станций с мощностью 0,3-5 Вт каждая и площадью покрытия в диапазоне от 10 до 1000 м. Таким образом, в пикосеть может входить до 255 устройств, однако технология работает таким образом, что только 8 из них могут в один момент времени быть активными и обмениваться данными. В пикосети выбирается главное устройство, а остальные являются подчиненными. Структура пикосети показана на рисунке 1.31.

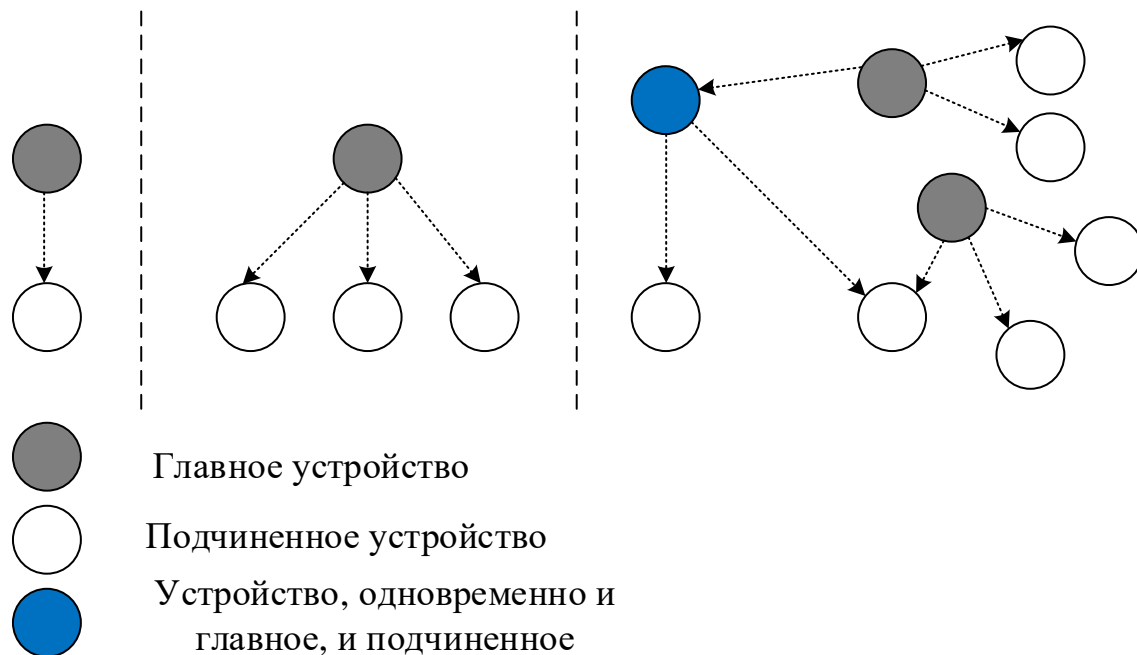


Рисунок 1.31 – Структура сети Bluetooth

Подчиненные устройства в свою очередь делятся на активные и находящиеся в состоянии покоя. Если устройство находится в режиме бодрствования, т.е. в активном режиме, то оно может взаимодействовать только с главным устройством. Прямой обмен между подчиненными устройствами в активном режиме не предусмотрен. Остальные устройства в этот момент находятся в режиме пониженного энергопотребления. В данном режиме подчиненные устройства периодически прослушивают эфир и при получении команды от главного устройства, переходят в активное состояние и передают данные.

В процессе передачи главное устройство отвечает за распределение пропускной способности между семью активными устройствами. Среда передачи делится по принципу TDM (Time Division Multiplexing).

Задачи безопасности в технологии Bluetooth решаются с помощью аутентификации устройств и шифрования передаваемых данных. Аутентификация реализуется на принципе проверки знания секретного ключа связи. Если аутентификация прошла успешно, начинается процесс шифрования данных. В случае неудачного завершения процесса

аутентификации, устройство должно выждать некоторый промежуток времени перед повторной попыткой. Для того, чтобы избежать попыток перебора ключа в целях обеспечения безопасности, время ожидания после неудачной попытки увеличивается по экспоненциальному закону.

1.3.1.3 Технология ZigBee

Технология ZigBee принадлежит семейству стандартов беспроводной локальной сети (WPAN) и в настоящее время применяется для реализации приложений в рамках концепции Интернета Вещей. Стэк протоколов ZigBee состоит из четырех уровней:

- 1) физический уровень (PHY);
- 2) канальный уровень (MAC);
- 3) сетевой уровень;
- 4) прикладной уровень.

Функции и правила работы на физическом и канальном уровнях определяются стандартом IEEE 802.15.4 [212]. В то время, как разработкой сетевого и прикладного уровня занимается Альянс ZigBee [213], созданный в 2002 году и насчитывающие сегодня в своем составе более 300 различных телекоммуникационных компаний. Целью создания альянса является разработка эффективных протоколов беспроводной связи и обеспечение совместимости устройств и протоколов. При реализации многих приложений ИВ и ДР необходимо быстрое развертывание сетей, с невысокой скоростью передачи, но простых в эксплуатации и живучих. Помимо того, что сети ZigBee полностью удовлетворяют перечисленным требованиям, они обладают ещё рядом преимуществ. Сети ZigBee являются самоорганизующимися сетями и имеют ячеистую топологию, т.е. относятся к mesh-сетям. Использование такой топологии, а также специальных алгоритмов маршрутизации позволяет таким сетям быстро восстанавливаться и осуществлять гарантированную доставку пакетов при выходе из строя

некоторых узлов. Также спецификация ZigBee реализует гибкую политику безопасности и криптографическую защиту данных. Устройства сети ZigBee небольшого размера, низкой стоимости и с низким потреблением энергии.

Основными элементами сети ZigBee являются координатор, маршрутизатор и конечные устройства. Спецификация ZigBee предполагает работу сети с различными топологиями, представленными на рисунке 1.32. Может быть топология звезда, кластерное дерево, точка-точка и ячеистая. Наибольший интерес представляет топология ячеистая сети, использующая протоколы динамической маршрутизации, что позволяют создавать самоорганизующиеся и самовосстанавливающиеся сети.

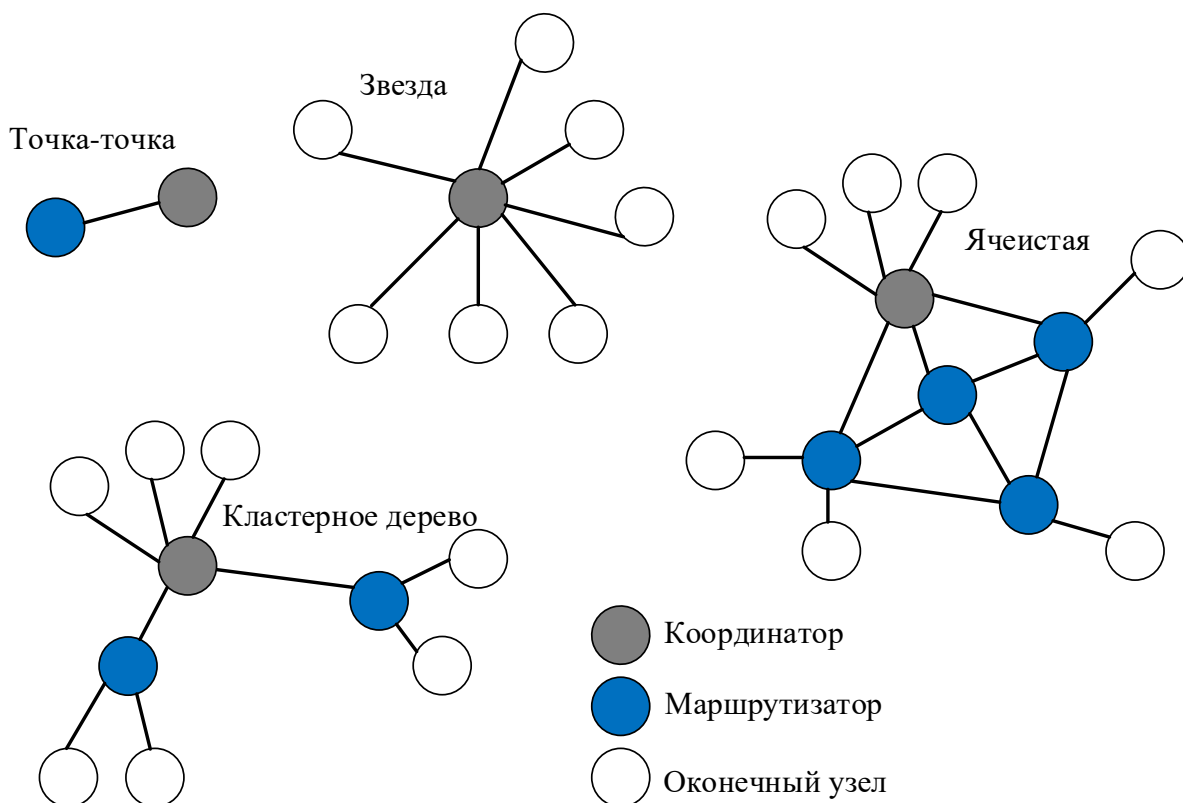


Рисунок 1.32 – Примеры топологий сети ZigBee

Аналогично технологии Bluetooth, ZigBee также работает на частоте 2,4 ГГц и передают данные со скоростью 250 кбит/с на расстояние до 100 м в зоне прямой видимости. Таким образом, технология ZigBee отлично подходит для приложений ИВ некоторых приложений ДР, например, в рамках мониторинга

промышленных объектов в умном городе, которые не требуют высокую скорость доставки данных и интенсивность передачи самих данных.

В 2015 году была выпущена новая версия спецификации ZigBee 3.0 [214], которая позволяет взаимодействовать между собой различным ZigBee и осуществлять их общее взаимодействие с действующими IP-сетями. Поскольку в технологии ZigBee реализованы различные режимы работы устройств (активный, спящий и т.д.), данные сети относят к сетям с низким энергопотреблением. Оконечные узлы находятся в спящем режиме и активируются только по происшествии какого-нибудь события, например, срабатывания таймера, активации кнопки, и т.п. После того как конечный узел передал необходимые данные и получил подтверждение о доставке, он снова переходит в спящий режим.

1.3.1.4 Технология Z-Wave

В последнее время популярность на рынке завоевывает технология Z-Wave, которая использует безопасные для здоровья маломощные волны. Z-Wave относится к беспроводным технологиям связи, работающим на основе маломощных радиомодулей, встроенных в устройства с низким энергопотреблением. Технология Z-Wave вписывается в модель взаимодействия открытых систем ISO/OSI и реализует нижние уровни по модели, а именно, РНУ (физический) и МАС (канальный). Данные уровни определены в рекомендации МСЭ-Т G.9959 [215]. Верхние уровни от канального до транспортного реализуются в закрытом программном коде. Данная реализация обеспечивает совместимость устройств от различных производителей. В Российской Федерации Z-Wave работает на выделенной ГРКЧ частоте 869 МГц (ГКРЧ № 07-20-03-001 от 07.05.2007). Более подробная информация об используемых частотах в данной технологии представлена в рекомендации ZAD12837-1, разработанной Альянсом Z-Wave.

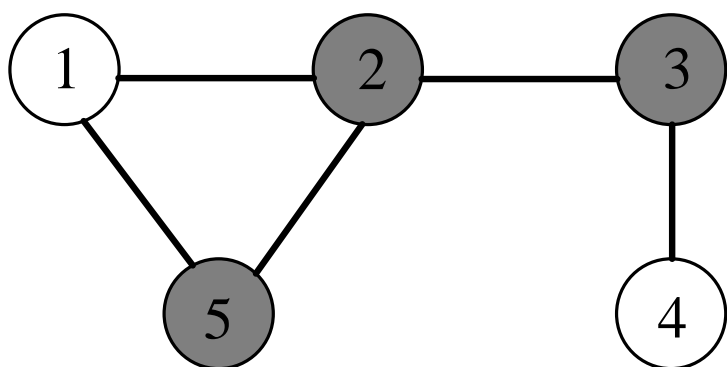
Также, как и технология ZigBee, Z-Wave поддерживает ячеистую топологию организации сети и включает в себя два типа узлов: контроллеры и оконечные узлы. Контроллеры реализуют функции маршрутизации. Оконечные узлы принимают и исполняют команды, в то же время, они могут работать как ретрансляторы сигнала. Контроллеры можно разделить на 2 вида: первичные и вторичные. Первичный контроллер реализует функции координатора сети, он наделен полномочиями включать/исключать оконечные устройства из сети. К вторичным контроллерам относятся все оставшиеся контроллеры, которые в случае необходимости обращаются к первичному контроллеру за различной информацией, например, о топологии сети. Максимальное количество узлов в сети Z-Wave не превышает 232 устройства. Для того, чтобы идентифицировать устройства в сети используются уникальные идентификаторы устройств в пределах конкретной сети, а для идентификации самих сетей применяются уже другие метки. Таким образом, устройства взаимодействуют друг с другом, находясь в одной сети, которой присвоена одна метка. Этот подход позволяет организовать несколько различных сетей Z-Wave в пределах видимости.

К функциям транспортного уровня технологии Z-Wave относится управление передачей данных между двумя узлами сети, за управление повторной передачей, проверку целостности и правильности доставленных данных, т.е. расчет контрольной суммы и получение подтверждения также отвечает данный уровень. На транспортном уровне работают четыре типа кадров, имеющих одинаковую структуру: заголовок, полезная нагрузка и контрольная сумма (1 байт), отвечающая за проверку целостности данных. В заголовке содержится информация об идентификаторе сети и исходного узла, размере полезной нагрузки и типе кадра. Кадр может быть с данными, подтверждающий доставку данных или кадр маршрутизации.

При успешной доставке информации до получателя, тот отправляет кадр подтверждения (АСК) на узел-отправитель. В кадре АСК не передаются данные пользователя или другая информация, и, соответственно, размер

полезной нагрузки равен нулю. Если в поле адрес назначения указывается 0xFF, то кадр пересылается широковещательно на все узлы сети. Допускается, что кадр может содержать несколько адресов назначения, но при этом они должны отличаться от широковещательного 0xFF. Такой кадр принято называть многоадресным, и доставка его осуществляется только на указанные узлы. Диапазон адресов, на который может доставляться многоадресный кадр, варьируется в пределах от 1 до 232. Широковещательный и многоадресный кадр не требуют подтверждения доставки.

При инициации процесса организации сети первичный контроллер запрашивает у подчиненных устройств данные о других соседних устройствах Z-Wave, которые им доступны. Данная информация объединяется и хранится в таблице маршрутизации, представленной на рисунке 1.33. Поскольку обмен информацией и занесение её в таблицу маршрутизации происходит достаточно оперативно, то можно говорить о том, что таблица представляет собой мгновенную топологию сети. При изменении положения устройств, происходит изменение топологии сети, что влечет за собой обновление таблицы маршрутизации контроллера.



	1	2	3	4	5	6
1	0	1	0	0	1	0
2	1	0	1	0	1	0
3	0	1	0	1	0	0

4	0	0	1	0	0	0
5	1	1	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0

Рисунок 1. 33 – Алгоритм маршрутизации технологии Z-Wave

Z-Wave работает по следующему принципу маршрутизации: контроллер, инициирует сообщение о создании таблицы маршрутизации, далее он генерирует полный маршрут до конечного получателя через множество промежуточных узлов. Маршрут следования передается с помощью кадра всем узлам сети, и каждый узел, получивший кадр с информацией о маршруте, пересылает его на следующий узел в соответствии содержащимися в кадре данными. Такой способ маршрутизации реализует передачу данных без распределенной сетевой информации, однако, приводит к увеличению длины кадра по причине включения в полезную нагрузку данных о маршруте. Поскольку в рассматриваемой технологии предполагается, что контроллеры являются мобильными устройствами, следовательно, каждый раз перед отправкой командного сообщения или запроса на подчиненный узел, они должны определить и обозначить свое положение в сети.

1.2.1.5 Технология Wi-Fi

Технология Wi-Fi (Wireless Fidelity) является технология беспроводной передачи данных [217]. Первоначальным стандартом была спецификация IEEE 802.11. Потом на основе данного стандарта появились другие спецификации, определяющие работу семейства беспроводных сетей Wi-Fi при различных условиях, на разных скоростях и частотах, а именно: 802.11 a/b/g/n/ac [218].

На сегодняшний день технология Wi-Fi является одной из самых популярных технологий для беспроводной связи в локальных сетях. Сложно

себе представить в современном обществе человека, который не знает или не пользуется данной технологией. Wi-Fi разрабатывался для замены другого популярного стандарта IEEE 802.3 Ethernet [219], основной задачей которого было обеспечение доступа к сети Интернет. На сегодняшний день практически все современные устройства, такие как смартфоны, планшеты, телевизоры и т.д., содержат Wi-Fi модуль. Развитая инфраструктура ИВ и ДР позволяет устройствам подключаться к сети напрямую, без использования специальных шлюзов. Сети стандарта Wi-Fi работают в диапазонах частот 2,4 ГГц или 5 ГГц. Диапазон частот 5 ГГц имеет большее количество каналов, по сравнению с 2,4 ГГц, что, в свою очередь, позволяет осуществлять передачу данных на более высоких скоростях. Организация IEEE стандартизовала физический и канальный уровни в рамках серии стандартов IEEE 802.11. Они отличаются между собой разными требованиями к частотам, типам модуляции, скоростям передачи данных и другими характеристиками. Верхние уровни стека протоколов, согласно модели ISO/OSI, разрабатываются рабочей группой по вопросам Интернета (англ. IETF, Internet Engineering Task Force) в виде документов RFC (Request for Comments). В таблице 1.3 приведены основные характеристики стандарты семейства стандартов IEEE 802.11.

Сети Wi-Fi поддерживают несколько видов взаимодействий: каждый с каждым, основная зона обслуживания и расширенная зона обслуживания. При соединении по принципу каждый с каждым все устройства сети могут взаимодействовать друг с другом напрямую. В случае наличия основной зоны обслуживания (англ. BSS, Basic Service Set) все устройства выходят в глобальную сеть через точку доступа. В режиме расширенной зоны обслуживания (англ. ESS, Extended Service Set) происходит объединение нескольких зон BSS, т.е. фактически объединение нескольких локальных сетей в одну большего размера

Таблица 1.3 – Характеристики стандартов Wi-Fi

Наименование стандарта	Частота, ГГц	Ширина канала, МГц	Максимальная скорость, Мбит/с, Гбит/с	Расстояние	Примечание
IEEE 802.11a	5 ГГц	20 МГц	54 Мбит/с	35 м, 120 м (БП1)	Чувствителен к препятствиям
IEEE 802.11b	2,4 ГГц	22 МГц	11 Мбит/с	35 м, 140 м (БП)	Работают старые устройства
IEEE 802.11g	2,4 ГГц	20 МГц	54 Мбит/с	38 м, 140 м (БП)	Работают старые устройства
IEEE 802.11n	2,4 и 5 ГГц	20 МГц 40 МГц	288,8 Мбит/с 600 Мбит/с	70 м, 250 м (БП)	Скорость передачи зависит от числа антенн
IEEE 802.11ac	5 ГГц	20 МГц 40 МГц 80 МГц 160 МГц	350 Мбит/с 800 Мбит/с 1,7 Гбит/с 3,5 Гбит/с	35 м	Скорость передачи зависит от числа антенн
IEEE 802.11ad	60 ГГц	2 МГц	до 7 Гбит/с	3 м	-

Примечание: 1БП – Без Препятствий

Одной из наиболее многообещающих технологий семейства стандартов IEEE 802.11 можно назвать IEEE 802.11ad. В последнее время можно встретить данную технологию под названием WiGig по аналогии с

наименованием создавшей данную технологию организацией Wireless Gigabit Alliance. Технология, предложенная в IEEE 802.11ad не заменяет существующие стандарты Wi-Fi, поскольку имеет ряд ограничения, в частности небольшой радиус действия и площадь покрытия. Поскольку в данном стандарте используются высокие частоты для работы, сигналы не в состоянии преодолевать какие-либо препятствия, так кирпичные стены, деревянная дверь создадут существенные проблемы для распространения сигнала. Поэтому данная технология применяется для организации взаимодействия между устройствами, находящимися в непосредственной близости от точки доступа. Однако, несмотря на данные недостатки, в свете повсеместного применения ИВ и ДР, сети, построенные по стандарту IEEE 802.11ad, широко используются. Например, данная технология применима в сетях PAN, и заметно сокращает количество проводов в данной сети, также она прекрасно подходит для реализации тех приложений дополненной реальности, которые требуют гигабитных скоростей и минимальной задержки доставки пакетов. Технология WiGig позволяет передавать медиаконтент с надлежащими требованиями качества обслуживания и качества восприятия, в частности, возможности технологии позволяют организовать параллельное потоковое вещание 4К-видео на несколько устройств, находящихся в зоне действия сети, без использования HDMI-кабеля, что является крайне востребованным в бизнесе и в сфере образования, когда в небольшом помещении необходимо транслировать видеопотоки.

В Российской Федерации технология WiGig была легализована ГКРЧ в феврале 2016 года и работает в диапазоне частот 57-66 ГГц. Международный Союз Электросвязи рекомендует использовать четыре канала, каждый из которых имеет ширину 2,16 ГГц, с центральными частотами 58,32, 60,48, 62,64 и 64,80 ГГц. Канал 2 с его центральной частотой 60,48 ГГц рекомендован как канал по умолчанию.

Технология стандарта IEEE 802.11ad поддерживает следующие режимы работы:

Одиночный носитель: режим с простой, надежной модуляцией, но пониженной скоростью передачи данных;

Маломощный одиночный носитель: режим энергосбережения для устройств энергопитанием от батарейки;

Высокопроизводительный режим с использованием технологии мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (англ. OFDM, Orthogonal frequency-division multiplexing), что позволяет обеспечить высокую пропускную способность до 7 Гбит/с.

Также, в технологии IEEE 802.11ad реализуется формирование диаграммы направленности, что позволяет оптимизировать мощность приемника и помогает преодолевать помехи, которые возникают по причине изменений условий канала связи, при передаче в реальном масштабе времени. На рисунке 1.34 представлены зоны покрытия популярных стандартов Wi-Fi.

Как было сказано ранее, технология Wi-Fi является одной из самых распространенных по всему миру среди обычных пользователей. Также сегодня многие приложения дополненной реальности работают через сети Wi-Fi, отправляя прямые запросы ДР-серверу, и получая от него ответы с данными для отображения пользователю. Технология проста в использовании и относится к недорогим в плане разворачивания сети и последующей эксплуатации. Однако, как и любая другая она имеет свои достоинства и недостатки [220].

К плюсам данной технологии можно отнести удобство и легкость разворачивания сети, т.к. нет необходимости прокладывать большое число проводов к каждому устройству, что существенно экономит время и деньги, а также позволяет разворачивать сети в сложных условиях, когда запрещены или невозможны строительные работы, например, в театрах, музеях, общественном транспорте. Пользователи данной технологии могут выходить в сеть со своего устройства и в различных местах на пути своего следования. Также к достоинствам можно отнести организацию одновременного доступа нескольких пользователей с различных устройств.

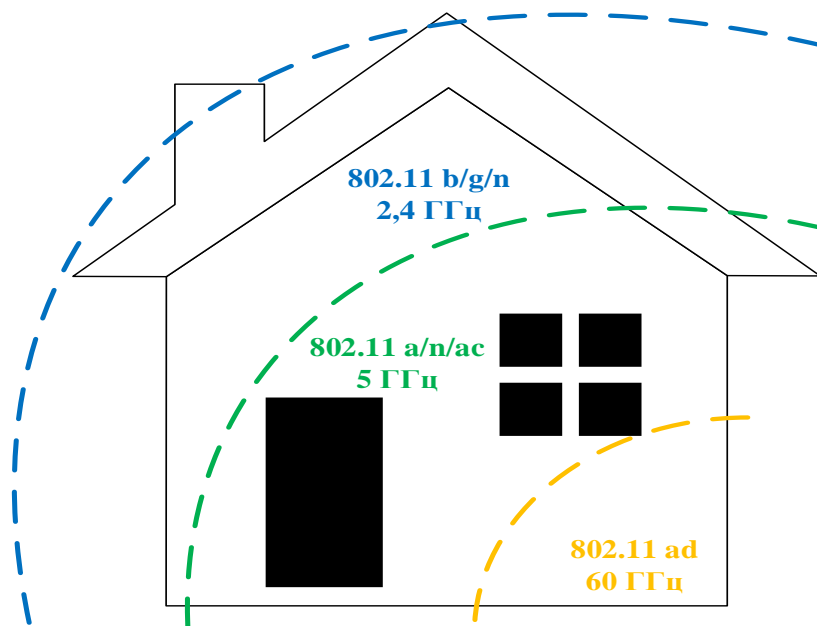


Рисунок 1.34 – Зоны покрытия стандартов Wi-Fi

К недостаткам технологии Wi-Fi можно отнести распространенный диапазон работы устройств 2,4 ГГц, в котором работает много другого оборудования, что приводит к ухудшению стабильности работы. В ряде стран присутствуют частотные ограничения, и с недавнего времени правовые ограничения, то есть для правомерной работы сети, необходима её регистрация и оператора её поддерживающего. Не очень высока степень защиты у сданных сетей, что может привести к взлому и несанкционированному доступу. Тем не менее сфера применения сетей Wi-Fi очень обширна, это и кафе, рестораны, троллейбусы и автобусы, торговый центры, бизнес-центры, квартиры и промышленные здания. Сегодня довольно много исследований посвящено технологии Wi-Fi и перспективам её развития в рамках концепции построения сетей 5G [221 - 224].

1.2.1.6 Технологии LPWAN (LoRaWAN)

Технология LPWAN (англ. LPWAN, Low Power Wide Area Network) в силу ряда своих преимуществ становится крайне востребованной при реализации концепции умных городов с использованием технологий дополненной реальности и Интернета Вещей. Сети LPWAN считаются энергоэффективными и обладают дальним радиусом действия. Среди наиболее перспективных технологий LPWAN можно выделить технологию SIGFOX, которая по энергоэффективности превосходит многие аналогичные технологии для сотовых сетей [229 - 231].

К технологии LPWAN можно отнести такие стандарты, как LoRa, NWave, Weightless, NB-IoT и SIGFOX, которые в настоящее время активно развиваются и используются во многих системах.

Разработчики технологии LoRaWAN из компании LoRa Alliance полагают, что данная технология обладает значительными преимуществами по сравнению с WiFi и сотовыми сетями, благодаря поддержке межмашинных соединений (англ. M2M, Machine-to-Machine) на большие расстояния до 20 км при скорости до 50 Кбит/с, а также имеет низкое энергопотребление, что может обеспечить в некоторых условиях несколько лет автономной работы на одной батарее питания типа AA. Масштаб применения данной технологии действительно впечатляет и покрывает практически все сферы деятельности человека от умного дома и Интернета Вещей, промышленных производств, дополненной реальности и умных городов.

LoRa является следующим этапом развития решений LPWAN, запатентованных корпорацией Semtech. Основная идея работы технологии сводится к вариации линейной частотной модуляции (англ. CSS, Chirp Spread Spectrum). Технология использует кодировку данных широкополосными импульсами с частотами, которые уменьшаются или увеличиваются на

некотором временном интервале. Выбор такой кодировки позволяет приёмнику быть устойчивым к отклонениям частоты от номинального значения и упрощает требования к характеристикам работы тактового генератора [232, 233].

Скорость передачи данных LoRa лежит в диапазоне от 0,3 Кбит/с до 50 Кбит/с. Технология LoRa может управлять использует скоростью передачи данных и назначать индивидуально каждому прибору адаптивную скорость передачи данных, что позволяет увеличить время автономной работы конечных устройств и общую пропускную способность сети.

В то время как реализация LoRa является закрытой, остальная часть стека протоколов, известная как LoRaWAN, остается общедоступной. За её разработку и развитие отвечает организация LoRa Alliance.

Класс «А» определяет режим работы по умолчанию в сетях LoRa. В классе «А» конечные устройства организуют сеанс связи. Узел передает данные небольшими сообщениями на шлюз по заданному графику. После окончания каждой передачи данных, оконечное устройство открывает одно приемное окно на некоторый промежуток времени, в случае, если сервер отправит какую-нибудь команду. В случае если ответ от сервера не поступает, узел переходит в спящий режим, тем самым, экономя потребление энергии. Второе окно открывается в другом предварительно согласованном с сервером поддиапазоне в целях повышения устойчивости в случае возникновения колебаний физических характеристик канала. Сервер накапливает данные и пересылает их, как только узел выходит на связь. Сети класса «А» предназначены в основном для мониторинга различных объектов, за счет экономного энергопотребления они достаточно распространены на практике. В сетях класса «В» дополнительно выделяется окно приема, которое открывается по заданному расписанию. По специальному сигналу «маяк», поступающему от шлюза, конечное устройство синхронизирует внутреннее время со временем сети, тем самым составляя расписание. Таким образом,

дополнительное окно позволяет начать передачу данных в заранее определённое время.

Устройства класса «С» имеют почти непрерывное окно приема, которое закрывается только на время передачи данных. Такой режим работы позволяет использовать сети класса «С» для решения ряда задач, требующих передачи большого объёма данных. Однако, устройства данного класса потребляют больше всего энергии, но зато получают данные от сервера сети с наименьшими задержками.

Традиционная сеть LoRaWAN включает в себя конечные узлы, шлюзы, сервер сети и сервер приложений.

Конечный узел (End-Node) выполняет функции управления, контроля, измерения и содержит набор соответствующих датчиков и управляющих элементов. Как правило, питание осуществляется от батареи. Узлы включают передачу данных на короткий промежуток времени в несколько секунд, после которого открываются два временных окна для приема данных.

Шлюз принимает данные от конечных устройств и передает их в транзитную сеть, например, Ethernet, WiFi, сотовые сети и т.д. Шлюз и конечные устройства подключаются по топологии «звезда».

Сервер сети управляет сетью, а именно, определяет расписание, адаптирует скорости передачи, управляет хранением и обработкой полученных данных.

Сервер приложений удаленно контролирует работу конечных узлов и собирает необходимые данные.

В технологии LoRaWAN сетевые узлы не связаны с конкретным шлюзом. Каждый шлюз пересылает полученные от конечных узлов данные к облачному серверу сети через промежуточную телекоммуникационную сеть.

В сетях LoRaWAN реализуется обязательное двухуровневое шифрование данных двумя разными крипто-ключами (AES-64 и 128) для защиты от несанкционированного доступа и искажения, либо перехвата данных при передаче их от конечных устройств.

1.2.1.7 Технология LTE-M/ NB-IoT

Традиционные сети подвижной связи работают в лицензированном спектре и основной их задачей является предоставление услуг передачи речи и данных с высокими значениями показателей качества обслуживания. Для приложений Интернета Вещей и ряда приложений дополненной реальности важным моментом является низкая стоимость применяемых радиомодулей и низкое энергопотребление устройств. Развернутые сети мобильных операторов, в том числе и технология LTE, не в полной мере отвечают данным требованиям. В связи с этим партнерство 3GPP (3rd Generation Partnership Project) разработало новые версии стандарта LTE [225]. Партнерство 3GPP является профессиональным консорциумом, занимающимся исследованиями и разработкой стандартов в области мобильных технологий. Целью разработки новых категорий 3GPP для устройств ИВ и ДР является снижение стоимости, увеличение зоны покрытия и времени автономной работы, в частности предполагается длительность работы на батареях 2АА более 10 лет. В таблице 1.4 представлены технические характеристики категорий технологии LTE с указанием номеров сравниваемых релизов. Категория 0 (Cat-0) была указана в 12 релизе, чтобы показать переход к новой спецификации LTE для приложений ИВ. В релизе 13, определены две новые категории: М и NB-IoT. Для обозначения категории М применяется аббревиатуры eMTC и LTE-M). Категория NB-IoT (NarrowBand Internet of Things) подразумевает узкополосный канал для передачи трафика Интернета Вещей, в некоторых источниках можно увидеть эту категорию под названием M2. LTE Cat-M является улучшенной версией IoT Cat-0. Основным отличием является снижение полосы пропускания системы с 20 МГц до 1,4 МГц. Следует отметить и другое важное изменение, а именно уменьшение мощности передачи до 20 дБм, что не требует внешнего усилителя мощности и позволяет использовать однокиповое решение, снижающее общую стоимость.

Таблица 1.4 – Стандарт 3GPP, технические характеристики релизов

Релизы стандарта 3GPP				
№ Релиза	Релиз 8	Релиз 12	Релиз 13	Релиз 13
Наименование категории	Cat-1	Cat-0	Cat-M	NB-IoT
Ширина спектра	20 МГц	20 МГц	1,4 МГц	200 кГц
Нисходящая скорость	150 Мбит/с	1 Мбит/с	1 Мбит/с	200 кбит/с
Восходящая скорость	50 Мбит/с	1 Мбит/с	1 Мбит/с	200 кбит/с
Количество антенн	2	1	1	1
Мощность передатчика	23 дБм	23 дБм	20/23 дБм	20/23 дБм

Среди преимуществ применения рассмотренных технологий LTE-M и NB-IoT для связи устройств Интернета Вещей можно назвать использование существующей инфраструктуры LTE. Согласно данным Глобальной ассоциации поставщиков мобильного оборудования (англ. GSA, Global mobile Suppliers Association) на сегодняшний день развернуто 142 сети NB-IoT или LTE-M, которыми управляют 114 операторов по всему миру, в том числе и в России [226]. Сеть LTE-M обеспечивает максимальную совместимость с инфраструктурой, т.е. может напрямую взаимодействовать с существующими сотовыми сетями без шлюза, и может быть развернута путем обновления версии программного обеспечения на действующих сетях LTE и GSM.

Технология NB-IoT является достаточно относительно новым решением для IoT в рамках партнерства 3GPP, несмотря на то, что оно подразумевает тесное взаимодействие и интеграцию с существующими сетями LTE. Данная технология предполагает использование нового типа радиодоступа, с характеристиками отличными от характеристик действующих систем. По теоретическим расчетам одна базовая станция может обслуживать до 50 тысяч беспроводных устройств.

Многие сотовые операторы связи работают в полосе частот 900 МГц, поскольку это позволяет обеспечивать покрытие больших зон. Это обусловлено тем, что низкие частоты обладают лучшими проникающими свойствами, чем высокие. Развертывание NB-IoT в указанной полосе частот позволит использовать существующую инфраструктуру, которая достаточно развита, что приведет к экономии средств.

Безопасность в сетях LTE и, как следствие, в сетях NB-IoT реализуются за счет выполнения следующих функций:

- 1) Защита пользователей основывается на том, что в процессе обслуживания пользователь скрыт временным идентификатором;
- 2) Обеспечение защиты передаваемых сообщений;
- 3) Шифрование сообщений осуществляется методом наложения на открытую информацию псевдослучайной последовательности;
- 4) Прохождение процедур аутентификации как пользователя, так и сети.

Среди преимуществ LTE-M можно выделить высокую скорость передачи данных, а для NB-IoT гибкость в спектре и большая энергоэффективность.

К недостаткам можно отнести необходимость лицензирования рабочего спектра, высокие тарифы на передачу для ряда устройств, например, не требовательного к скоростям, высокая стоимость устройств по сравнению с сетями LPWA. Среди преимуществ NB-IoT можно выделить возможность использования инфраструктуры существующих операторов сотовой связи, поддержку функций роуминга, высокие скорости передачи данных в режиме реального времени для соответствующих устройств.

1.2.1.8 Технология SigFox

Технология SigFox является новой разработкой, предложенной французской компанией SIGFOX. Она создавалась с учетом особенностей внедрения концепции Интернета Вещей. Очевидно, что наибольшее распространение SigFox получила в Европе. Технология основана на взаимодействии с базовыми станциями через ультратонкую полосу (англ. UNB, Ultra Narrow Band. Для осуществления кодирования данных SigFox меняет фазу несущей радиоволны, что приводит к уменьшению уровня шума на принимающей стороне, следовательно, уменьшает стоимость принимающих устройств [227, 228].

Топология сети SigFox представлена на рисунке 1.35 и включает в себя следующие элементы:

устройства Интернета вещей;

базовые станции, которые выступают в роли шлюзов;

облако, которое представляет из себя вычислительные ресурсы, сервера и хранилища данных).

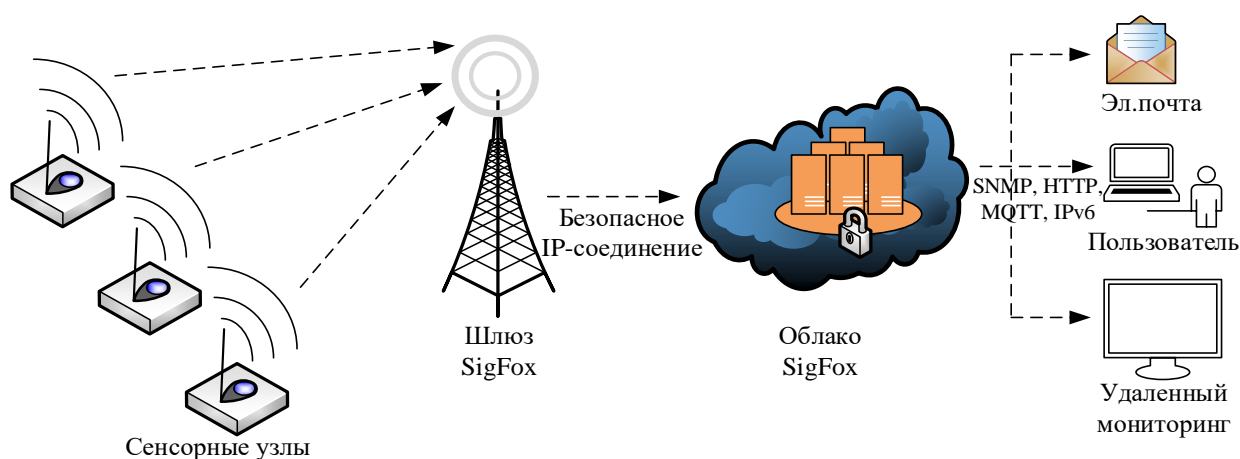


Рисунок 1.35 – Сеть SigFox

Разработчики технологии SigFox предполагают, что все устройства подключены к некому облаку и тогда, возможен следующий сценарий обмена данными. По радиоканалу устройство связывается с базовой станцией, расположенную в зоне досягаемости устройства, и передает данные. Базовая станция проверяет полученные данные, осуществляет демодуляцию и передает их дальше в облако. В задачи облако входит аутентификация отправителя и определение получателя для чего используется уникальный в пределах сети идентификатор. Примером получателя могут быть различные сервера клиентов, приложения ИВ и т.п. Аналогичным образом происходит двухсторонний обмен данными.

В действующем стандарте SigFox используется полоса частот 100 Гц на канал, а также поддерживается скорость передачи данных менее 0,1 кбит/с. В стандарте SigFox определен лимит сообщений от базовой станции до конечного устройства в течение дня, максимум возможно передать 140 сообщений. При этом размер каждого сообщения также ограничен и не должен превышать 12 байт без учета заголовка и информации о передаче. Пропускная способность технологии SigFox составляет 200 кГц.

В технологии SigFox предусмотрена взаимодействие узлов в двух режимах. Пиринговый режим (англ. P2P, Peer-to-Peer) осуществляет прямую связь между. Гибридный режим – SigFox / P2P (P2P + шлюз в сети SigFox).

В пиринговом режиме, узлы подключаются напрямую друг к другу и могут сразу передавать сообщения. В данном случае передача данных будет бесплатной, т.к. не задействован канал связи ни одного оператора.

В гибридном режиме используется сочетание пирингового и SigFox режимов, что подразумевает отправку только определенных сообщений через сеть. В этом случае один узел используется в качестве шлюза сети, работающей в гибридном режиме, а остальные узлы работают в пиринговом режиме.

Технология SigFox идеально подходит для реализации тех приложений ИВ и ДР, которым необходимо передавать небольшой объем данных, так,

например, данные мониторинга объектов, изменение значений температуры, влажности, данные систем сигнализации и т.д. В подобных приложениях сигнал для передачи сообщения обычно повторяется несколько раз. В данной технологии есть и некоторые ограничения, например, сокращение времени автономной работы, а также отсутствие обратной связи, что не дает отправителю гарантию, что сообщение доставлено получателю. В настоящее время разработчики SigFox работают над организацией двустороннего соединения, т.к. на сегодня оно не поддерживается технологией.

Особенностью работы беспроводной технологии SigFox является передача данных с низкой скоростью на большие расстояния, то есть данная технология относится к сетям с низкой пропускной способностью (англ. LTN, Low Throughput Network).

Модель SigFox определяет следующие уровни: радио уровень, физический уровень, канальный и прикладной уровень. Далее коротко описаны основные функции каждого из этих уровней.

Радио уровень обеспечивает распределение частот и формирует требования к мощности передатчиков для оконечных точек SigFox и базовых станций.

Физический уровень добавляет преамбулу при передаче и удаляет при приеме.

Канальный уровень формирует кадры в соответствии с форматами восходящей и нисходящей линий связи. В большинстве случаев система SigFox используется для передачи по восходящей линии связи, то есть реализует канал связи только в одном направлении.

Прикладной уровень осуществляет поддержку различных приложений, поддерживаемых этой технологией.

1.2.1.9 Технология Weightless

Технология «Weightless» представляет собой открытый стандарт LPWAN (Low Power Wide Area Network) от Weightless SIG (Special Interest Group). В настоящее время разработаны три стандарта подключения:

Weightless-N работает только для восходящей линии связи, но с широкой зоной покрытия, и низким энергопотреблением. Weightless-N часто применяется в сенсорных сетях при реализации прикладных решений, где требуется мониторинг значений температуры, влажности, давления, контроля уровня жидкости в резервуаре и измерений других динамических показателей.

Weightless-P используется для восходящей и частичной нисходящей линии связи и представляет из себя узкополосную технологию LPWAN, работающую в условиях высокой плотности конечных устройств на ограниченной территории. Обеспечивает длительную работу от батареи и двунаправленную связь. К преимуществам данной технологии можно отнести масштабируемость, оптимизацию восходящей и нисходящей линии связи, широкую зону покрытия, долгий срок работы батареи и довольно высокий уровень безопасности. При реализации двунаправленной связи технология Weightless-P использует узкий диапазон групп модуляций, что обеспечивает высокое качество обслуживания (Quality of Service, QoS).

Weightless-P является наиболее масштабируемой технологией LPWAN. Одна базовая станция Weightless-P, работающая в субгигагерцовом диапазоне, поддерживает больше устройств, чем любая другая технология LPWAN в данном диапазоне. Высокая емкость базовых станций уменьшает затраты на развертывание сети.

Можно определить следующие основные характеристики Weightless-P:

- узкополосность - 12,5 кГц на канал;
- спектрально-эффективная модуляция OQPSK;
- работает во всем диапазоне лицензионных полос частот: 169 / 433 / 470 / 780 / 868 / 915 / 923 МГц;
- роуминг;
- адаптивная скорость передачи данных в диапазоне 200 бит/с – 100 кбит/с;

Поскольку ресурсы в субгигагерцовом нелицензируемом спектре ограничены, а трафик от других технологий неуклонно растет и в ближайшем будущем возникнут конфликты, Weightless-P использует узкополосные 12,5 кГц каналы, что позволяет передавать больше данных, чем другие технологии, работающие в этом спектре.

Технология активно используется при осуществлении различных измерений умными устройствами, системах слежения, мониторинге и диагностике транспортных средств, в медицинских сетях при отслеживании состояния здоровья пациентов, считывании показателей датчиков и умных приборов и др.

Технология Weightless-W применяется для работы в частотах телевизионного диапазона.

1.2.2 Технологии спутниковой связи

Основная идея многих приложений дополненной реальности заключается в предоставлении пользователю информации на основе анализа его местоположения или местоположения объекта. Для реализации некоторых приложений без использования спутниковых технологий не обойтись, особенно, если речь идет об интерактивных картах и добавлении информации о зданиях и сооружениях в городе или мониторинг сельскохозяйственных культур, где необходимо четкое понимание расположения объекта на большой территории. Использование систем позиционирования существенно расширяет потенциал ДР и ИВ, потому что она позволяет количественно определять местоположение, скорость, время и направление движения объектов.

1.2.2.1 Технология GPS

Глобальная система позиционирования (англ. GPS, Global Positioning System) была создана под эгидой Министерства обороны США в 1973 году для отслеживания положения объектов на всей нашей планете в режиме реального времени. В данной системе задействовано 24 активных спутника, которые принято называть Глобальная навигационная спутниковая система, а также три резервных спутника на случай непредвиденного отказа одного из работающих спутников. Несмотря на то, что система GPS обслуживается и контролируется на средства Министерства обороны США, использование стандартной системы позиционирования в гражданских целях осуществляется бесплатно.

Система GPS использует чипы GPS, которые взаимодействуют со спутниками и отслеживают движение любого объекта в том числе, транспортных средств, людей, животных и птиц. Климатические и погодные условия не влияют на работу системы, она фиксирует перемещение в реальном режиме времени и ведет историю изменений местоположения. Для обеспечения точности отслеживания не менее трех спутников находятся в небе над любой областью в каждый момент времени для триангуляции и определения положения чипа слежения.

Спутники используют радиоволны для сбора информации в трех измерениях и расчета положения объектов. Информация о местоположении собирается станциями слежения, стратегически размещенными по всему миру.

В качестве одного из первых способов определения местоположения объектов система GPS оказала определяющее влияние на развитие и внедрение концепции Интернета вещей и технологии дополненной реальности.

На базе GPS работает внушительное количество приложений, так с помощью ИВ и ДР можно определить когда транспортное средство попадало в ДТП или что какой-то датчик детектирует превышение порогового значения,

но именно система GPS предоставляет информацию о том где именно это произошло.

Объединение ИВ, ДР и GPS формирует основу для создания умных городов и многих других интересных приложений и услуг и выводят предоставление телекоммуникационных услуг на глобальный межотраслевой уровень. Датчики ИВ проверяют состояние объектов промышленности, гражданского пользования, культурных и социально значимых объектов, различного оборудования. ДР отображает и упрощает взаимодействие и управление данными объектами и позволяет объединять всю собранную информацию и отображать в нужном месте. Таким образом, организуется обширная взаимоувязанная экосистема, позволяющая интеллектуальным устройствам взаимодействовать между собой и целенаправленно предоставлять требуемые данные.

1.2.2.2 Технология ГЛОНАСС

Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС) является российской спутниковой системой навигации, разработанной по заказу Министерства обороны СССР. Начало работы над созданием системы ГЛОНАСС можно датировать 1976 годом.

Как и многие технологии связи система ГЛОНАСС создавалась для военных задач, однако, также, как и GPS нашла применение в других отраслях. Сегодня данная система применяется для управления транспортными потоками на всех видах транспорта, для контроля перевозок ценных и опасных грузов, для контроля рыболовства в территориальных водах российской Федерации, для осуществления поисково-спасательных операций, для проведения геодезических съёмок, при строительстве нефте- и газопроводов, линий электропередач и т. д.

Системой ГЛОНАСС сегодня оснащают гражданские и военные суда, самолёты, автотранспорт, а также баллистические ракеты. В настоящее время

на территории Российской Федерации в обязательном порядке система ГЛОНАСС должна быть установлена на всех видах общественного транспорта и в автомобилях экстренных служб, а в ближайшем будущем планируется принять закон, обязывающий оснащать дынной сисемой все автомобили в стране.

1.2.3 Сети связи пятого поколения 5G/ИМТ-2020

Дальнейшее развитие сетей связи предполагается в направлении концепции 5G/ИМТ-2020 или иначе сети пятого поколения. Более того, повсеместное внедрение приложений ИВ и ДР во все области жизни человека и производства требует пересмотра принципов организации существующих сетей связи, т.к. новые приложения генерируют совершенно новый трафик, еще недостаточно изученный и требуют высоких скоростей не беспроводном доступе. Концепции 5G/ИМТ-2020 содержит комплекс подходов и технологий к организации не только мобильных, но и фиксированных сетей связи. На сегодняшний день в МСЭ-Т (Международном Союзе электросвязи, сектор стандартизации) создана 13 исследовательская группа (англ. SG, Study Group), которая ориентирована на разработку перечня рекомендаций, определяющих термины, архитектуры и технологии, принципы и подходы организации сетей пятого поколения. Более того в 11 исследовательской группе рассмотрение требований к сигнализации и протоколам управления сетевыми ресурсами расширилось до новых областей исследования и последующей стандартизации, а именно, программно-конфигурируемые сети (англ. SDN, Software-Defined Networking) и виртуализация сетевых функций (англ. NFV, Network Function Virtualization), поскольку предполагается, что именно технологии SDN и NFV лягут в основу создания сетей пятого поколения 5G/ИМТ-2020 и обеспечат предоставление новых услуг с надлежащим качеством восприятия, а как известно услуги дополненной реальности,

Тактильного интернета, медицинские приложения предъявляют очень высокие требования к задержке доставки информации.

Впервые предложение использовать технологию SDN в сетях 5G/ИМТ-2020 было озвучено в рамках рекомендации МСЭ-Р М.2083-0 [234] в пункте 2.3.2. Сетевые технологии – «Для ИМТ-систем будущего потребуются более гибкие сетевые узлы, настраиваемые на основе организации сетей с программируемыми параметрами (SDN), а также архитектуры и виртуализации сетевых функций (NFV) в целях оптимальной обработки функции узлов и повышения эксплуатационной эффективности сетей».

Согласно определению, данному в рекомендации МСЭ-Т Y.3100 «Terms and definitions for IMT-2020 network» [235], ИМТ-2020 — это системы, системные компоненты и связанные с ними аспекты, которые поддерживают предоставление гораздо более расширенных возможностей, чем те, которые описаны в рекомендации (МСЭ-Р М.1645 – «Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000» [236]). В данной рекомендации описаны расширенные возможности, которые предоставляют сети ИМТ-2020, в этой же рекомендации говорится о том, что сети ИМТ-2020 служат средством коммуникации для людей и машин, помогают в развитии других отраслей промышленности, таких как: медицина, транспорт (логистика), образование, промышленное производство и другие.

Внедрение сетей связи пятого поколения позволит организовать беспроводную структуру для подключения к сети, расширить номенклатуру инфокоммуникационных услуг и позволит осуществлять межведомственные проекты для удобства и комфорта граждан, сократит цифровой разрыв, приведет к изменению общества и способов коммуникаций в нем, будет способствовать переходу на инновационные формы обучения, позволит оптимизировать производственные процессы за счет активного использования D2D коммуникаций, и в конечном итоге завершит переход к новому информационному обществу.

Предполагается, что окончательно стандарт 5G должен быть принят в 2020 году. В разработке стандарта участвуют несколько организаций, в том числе IEEE, ETSI, 3GPP и т.д. Тесная работа большого числа различных организаций способствует разработке совместимых технологий в сетях пятого поколения. Также внедрение 5G требует разработки нового радиointерфейса, усовершенствование существующего радио LTE Advanced Pro и переход на принципиально новую архитектуру базовой сети [237, 238].

Одним из препятствий для запуска 5G является недостаток ресурсов частотного спектра. Предполагается, что в будущих сетях ресурс расширится, в том числе за счет миллиметрового диапазона. Задачи покрытия и доступности сети будут решаться с учетом пользователя, то есть радиопокрытие сети будет подстраиваться под требования пользователей в отличие от предшествующих стандартов.

Эффективность радиointерфейса пятого поколения планируется увеличить в три раза, что позволит передавать в три раза больше данных при той же ширине полосы.

В целом, технология 5G подразумевает гораздо более высокий уровень охвата и большее количество устройств, подключенных к сети. Поэтому для сетей 5G можно встретить термин «Всемирная беспроводная сеть» или WWW.

Технология 5G будет обеспечивать среднюю скорость подключения к конечным точкам в диапазоне 1-10 Гбит/с, задержку сети приблизительно в 1 мс в оба стороны, снижение энергопотребления сети на 90% и до десяти лет автономной работы маломощных устройств от аккумуляторных батарей, а также поддержку одновременного подключения до 100 млн. устройств/км².

По прогнозам срок использования сетей 5G будет довольно долгим, поскольку одно из предназначений таких сетей – это организация взаимодействия между устройствами ИВ, а многие из них рассчитаны на работу в течение длительного периода времени, исчисляемого годами. Например, реализация концепции умного дома или умного предприятия не

предполагает смену установленных датчиков при появлении новой технологии на рынке.

В Рекомендации МСЭ-Т для ИМТ-2020 М.2083 описаны три общих сценария использования систем 5G:

- 1) усовершенствованная мобильная широкополосная связь для работы с большими объемами данных и высокой плотностью пользователей;
- 2) массовые межмашинные коммуникации для ИВ, работающие на низких скоростях передачи с низким энергопотреблением для огромного количества подключенных к сети устройств;
- 3) ультра надежная связь для обеспечения критически важных для жизни приложений.

Одним из способов высокоскоростного подключения в сетях 5G является использование частот миллиметровых волн. Одной проблемой их использования называют способность влиять на различные погодные явления, что приводит к значительному снижению уровней сигнала во время осадков. Вследствие небольшого расстояния распространения миллиметровых волн в 5G используется концепция пикосот. В центре пикосоты расположен маломощный узел радиодоступа. Радиус действия одной пикосоты около 200 м. Использование пикосот позволяет увеличить частотный диапазон и мощность сигналов в районах с большой плотностью населения.

Рассмотрим некоторые потенциальные технологии стандарта 5G. Технология MIMO (Multiple Input Multiple Output) предполагает использование нескольких антенн на приемопередатчиках и успешно применяется в сетях четвертого поколения. В настоящее время в сетях используется MIMO 2x2, т.е. по 2 антенны для приема и передачи и MIMO 4x4, соответственно, по 4 антенны для приема и передачи. В будущем число антенн планируют увеличить, поскольку скорость передачи данных возрастает практически пропорционально количеству антенн, а качество сигнала улучшается при приеме сигнала сразу несколькими антеннами за счет разнесенного приема.

Переход в сантиметровый и миллиметровый диапазоны для обеспечения работы новых приложений обусловлен наличием свободного спектра. Однако, следует учитывать, что при повышении частоты передачи информация, уменьшается дальность связи. Поэтому в сетях пятого поколения базовые станции будут располагаться плотнее, чем сейчас, увеличивая тем самым емкость сети.

Для обеспечения функционирования огромного числа разнотипных приложений и услуг в сетях 5G требуется поддержка как уже существующих стандартов, таких как UMTS, GSM, LTE, Wi-Fi, так и перспективных, что предполагает одновременное присутствие на сети большого числа разнотипных технологий.

Технология взаимодействия D2D существенно разгружает ядро сети, т.к. позволяет устройствам обмениваться данными напрямую без участия сетевого оборудования. При постоянно увеличивающихся объемах передаваемого трафика, этот подход выглядит очень многообещающим с точки зрения работы транспортных сетей, через которые будет передавать только информация сигнализации.

Применение технологии SDN также способствует внедрению сетей пятого поколения. Согласно Рекомендации Y.3300 [239] SDN управляет сетью с помощью контроллера, с установленной на нем сетевой операционной системой. Данный контроллер управляет узлами сети. Узлы сети обрабатывают пакеты с помощью заданных правил и механизмов, например, с помощью протокола OpenFlow. SDN разделяет сетевой уровень на уровень управления и уровень передачи пользовательских данных, что позволяет не конкретизировать тип и производителя оборудования, а управлять всеми устройствами на логическом уровне, который реализован на централизованном контроллере. Также SDN позволяет упростить процесс внедрения новых услуг, развертывания сетей, переход на другие версии протоколов, что естественным образом снижает капитальные и операционные затраты телекоммуникационных компаний.

В Рекомендации МСЭ-Т Y.3011 рассматривается концепция NFV [240] в качестве перспективной при построении сетевой инфраструктуры 5G/ИМТ-2020. Данная технология позволяет виртуализировать сетевые функции оборудования, и окончательно отделить аппаратную и программную части.

Сегодня ведется активная работа различными организациями по стандартизации в направлении разработки рекомендаций и документов, определяющих архитектуру, структуру, типы взаимодействий, основные элементы, протоколы, функции и т.д. сетей связи пятого поколения [241 - 255].

В данном разделе были рассмотрены некоторые наиболее популярные технологии, позволяющие реализовывать приложения ДР, в том числе и в рамках будущих сетей пятого поколения 5G/ИМТ-2020. Выбор той или иной технологии сильно зависит от задач, которые ставятся перед приложением, поэтому невозможно ожидать перехода к унифицированной технологии. Многообразие видов трафика, принципов работы приложений, требований к качеству восприятия приводят к необходимости создания гетерогенных сетей связи.

Отдельно следует сказать об изменившейся структуре трафика. Приложения интернета вещей часто генерируют антиперсистентный трафик, который требует более глубокого изучения и разработки новых методов расчета и планирования сетей с учетом свойств данного трафика. Увеличение числа межмашинных соединений также приводит к необходимости пересмотра организации сетей связи и распределения нагрузки. Многие научные работы сегодня посвящены исследованиям трафика M2M, генерируемого мобильными терминалами, передаваемого по сетям SDN, разработке моделей трафика M2M [256 - 260]. В тоже время появление таких концепций, как Тактильный Интернет и Интернет навыков, являющихся развитием и расширением возможностей дополненной реальности, перевернули представление нормам значений характеристик работы сети и сегодня многие исследования посвящены разработке архитектур для предоставления указанных услуг [261], в том числе с использованием

многооблачных граничных вычислений [262 - 267]. Однако, это только начальный этап исследований новых услуг и приложений, и требуется разработка и исследование моделей трафика вновь появившихся приложений и дополненной реальности в том числе.