

НИИМА «Прогресс»: беспроводная связь и навигационные решения для различных устройств – обмен данными, навигация и связь

Часть 1

И. Чикваркин¹

УДК 629.056.8 | ВАК 2.2.11

В настоящее время имеется большое количество классических ГНСС (ПРО-04, ПРО-04М), навигационно-связных (ПР1603НБ, ПР1803Н, ПР1803НЛ) и альтернативных решений (ПР32, ПР4502) для определения местоположения объекта в пространстве (как пилотируемого, так и беспилотного). В статье приведен краткий обзор различных систем и вариантов позиционирования объектов, таких как модули сотовой связи, технологии радиосвязи дальнего действия, технологии радиосвязи ближнего действия и технологии радиочастотной идентификации RFID. Освещены результаты работ по проектированию специализированной ЭКБ и модулей (связных и навигационно-связных). Приведены примеры возможного применения их для транспортных средств. Указаны общие характеристики, внешний облик и габаритные размеры модулей. Отражены прогнозы по разработке новых направлений и изделий.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ

К основным технологиям беспроводной связи относятся:

- **спутниковая связь**, использующая для подключения устройств ряд частотных диапазонов (Ku-, K-, Ka-диапазоны и прочие) и частоты спутниковых группировок на орбитах разной высоты;
- **технологии сотовой связи** – 2G/GSM, 3G, 4G/LTE и активно развивающийся сегмент связи 5G;
- **энергоэффективные узкополосные сети дальнего радиуса действия** (Low Power Wide Area Networks, LPWAN) – группа технологий связи, развитие которой было изначально ориентировано на M2M-взаимодействия. Включает в себя две категории:
 - LPWAN на базе сотовой связи (cellular LPWAN). В настоящее время наиболее широко распространены на рынке решения этой категории – стандартизированные консорциумом 3GPP

технологии NB-IoT (LTE Cat-NB), EC-GSM-IoT, eMTC (LTE Cat M1/M2) и LTE Cat 1 / Cat 1 bis.

- несотовые LPWAN, использующие собственные протоколы. Несотовые LPWAN развертываются на полосах частот в нелицензируемых диапазонах, в отличие от сетей сотовой связи. На рынке эта категория представлена международными стандартами LoRaWAN, SigFox, Weightless, RPMA, DASH7, а также российскими NB-Fi, GoodWAN/OpenUNB, XNB, LoRaWAN RU;

- **беспроводные технологии ближнего радиуса действия**, которые составляют основу локальных и персональных беспроводных сетей (Local Area Networks, LAN и Personal Area Networks, PAN). К этой группе относится большое количество протоколов и технологий, включая Wi-Fi, Bluetooth, протоколы на базе стандарта IEEE 802.15.4, Z-Wave, DSRC и прочие.

Отдельную группу составляют **технологии радиочастотной идентификации** – RFID и ее подвид NFC. Эти способы беспроводного взаимодействия по своим характеристикам находятся «на границе» IoT.

Спектр основных технологий беспроводной связи IoT показан на рис. 1.

¹ АО «НИИМА «Прогресс», начальник отдела, i.chikvarkin@i-progress.tech.

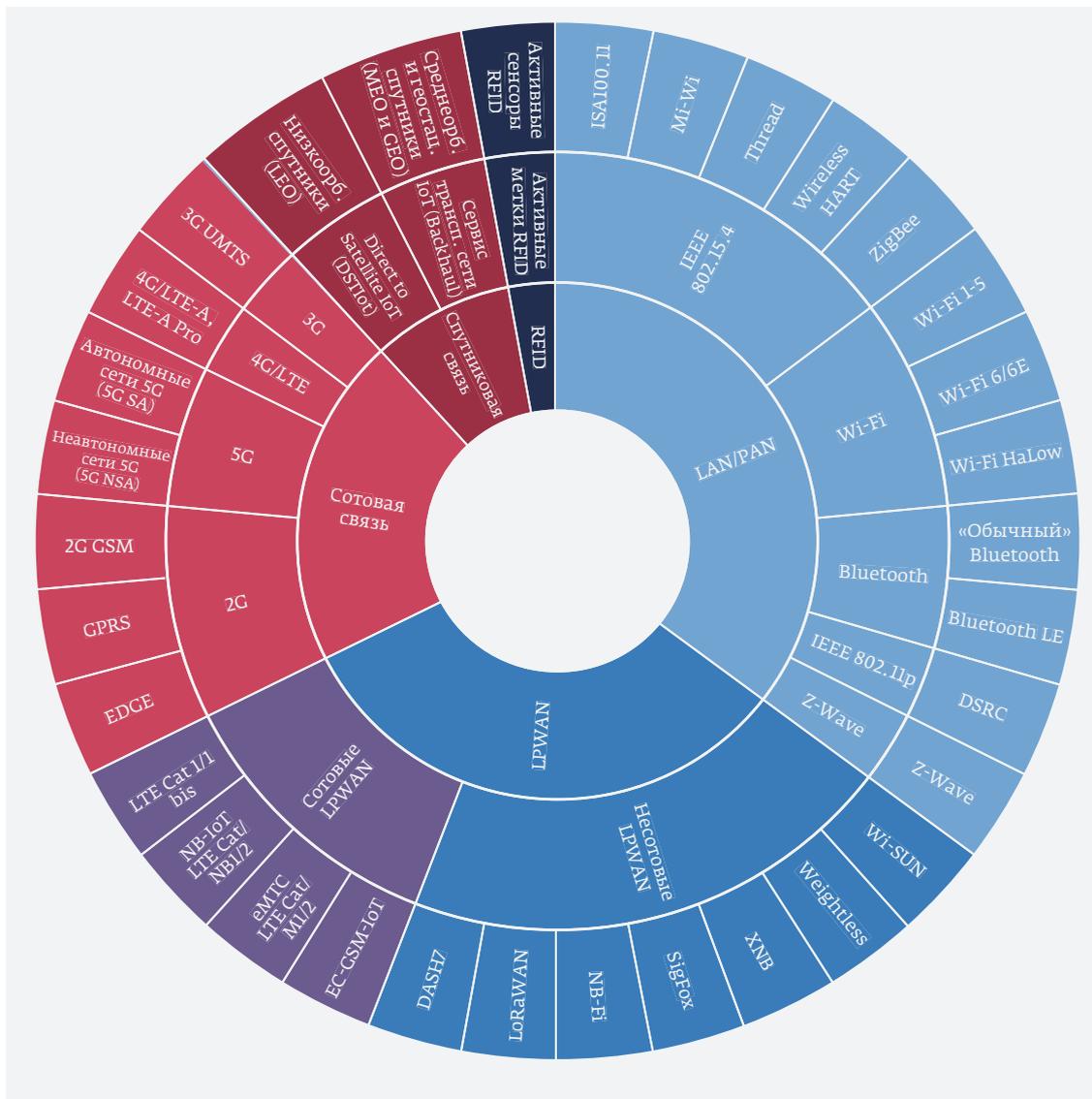


Рис. 1. Спектр основных технологий беспроводной связи IoT.
Источник: АНО «Цифровая экономика»

РАЗВИТИЕ СЕТЕЙ LTE

Общемировой тренд на частные промышленные сети сетей LTE (private LTE или pLTE) и 5G начал появляться и в России с 2018 года. Количество таких проектов выросло почти с нуля до десятков (с 2018 по 2021 г). По итогу 2022 года общее число проектов в разных стадиях реализации превысило 50, а к 2025 году объем российского рынка сетей pLTE/5G достигнет 8,3 млрд руб. Ключевые ниши внедрения частных сетей в России, как и в мире – это горнодобывающая отрасль, железнодорожный транспорт и нефтегазовая промышленность, а также различные подотрасли машиностроения.

Пока внедрение сетей pLTE/5G и количество подключений IoT, которое они обеспечивают, невелико. Но если темпы роста последних четырех лет сохранятся, то к 2025–2027 годам этот сегмент может стать одним из ведущих факторов развития индустриального IoT в стране.

Однако политические события могут затормозить тренд на развитие частных сотовых сетей.

Тем не менее, по экспертным оценкам, общее число объектов транспортно-логистической и производственной инфраструктуры в России, для которых могут быть востребованы решения на базе частных сотовых сетей в ближайшие пять лет, составят от 450 до 700 по всем отраслям. Таким образом, сегодня подобными проектами охвачено от 7 до 11% рынка.

Для развития 5G-сетей в России будет использоваться диапазон 4,4–4,9 ГГц (наиболее оптимальным диапазоном для развертывания сетей 5G является 3,4–3,8 ГГц, его используют в большинстве стран мира, в России эту полосу частот занимают определенные ведомства). Как говорят эксперты отрасли, выделенный диапазон характеризуется быстрым затуханием радиосигнала и плохим проникновением через препятствия. У базовых станций,

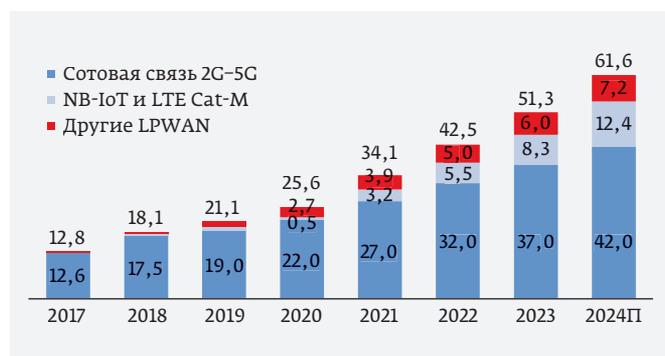


Рис. 2. Структура подключений IoT по технологиям WAN в России. **Источник:** исследование ПАО «МТС»: IoT Барометр 2021

работающих в этом диапазоне, минимальный радиус покрытия, поэтому нужно устанавливать большое их количество, что влечет за собой повышенные затраты и ограниченное распространение – только в крупных мегаполисах в точках максимальной концентрации абонентов.

Ключевой вызов как для технологий LTE, так и для 5G – вывод на коммерческий рынок именно оборудования (в том числе базовых станций), сопоставимого с зарубежными аналогами и совместимого с действующими сетями операторов.

Существуют две основные ниши – сотовые и несотовые LPWAN. Несмотря на различия в базовой технологии передачи данных, основные свойства сетей LPWAN остаются общими для обеих категорий:

- большой радиус действия (до 2–5 км в городе, до 10 км и более на открытой местности);
- поддержка массовых M2M-взаимодействий (mMTC), то есть обмена данными большого числа устройств IoT с высокой плотностью их размещения в сети;
- низкая скорость передачи данных (от единиц бит до сотен килобит в секунду), которой достаточно для приема «легких» данных межмашинной телеметрии от простых устройств;
- экстремально низкое энергопотребление, способное продлевать срок жизни устройств IoT со встроенной батареей до 10 лет и более.

Российский рынок несколько отличается от общемирового. На 2021 год все виды LPWAN обеспечивали не более 21% подключений IoT из технологий с дальним радиусом действия, почти в четыре раза уступая сотовой связи 2G–4G. К 2022 году этот разрыв сократился, позволив LPWAN занять до 32% рынка.

Структура подключений IoT по технологиям WAN в России представлена на рис. 2.

СОТОВЫЕ СЕТИ LPWAN

Сотовые сети LPWAN активно развиваются в направлении «межмашинной» связи пятого поколения. На 2022 год обновленные версии NB-IoT и LTE Cat M2 рассматривались в качестве технологий связи 5G в части поддержки массовых M2M-взаимодействий, то есть 5G с ограниченной функциональностью (5G RedCap или 5G mMTC).

Подавляющее большинство устройств IoT, подключенных через несотовые сети, – это относительно простые датчики и сенсоры, передающие данные не в реальном времени, малыми объемами и со значительными интервалами. По своим характеристикам несотовые LPWAN находятся ближе к NB-IoT, чем к LTE M и другим сотовым узкополосным сетям.

Существует ряд отличий несотовых LPWAN от сотовых сетей связи.

- Несотовые LPWAN используют нелицензируемые полосы частоты в субгигагерцевом диапазоне. Это существенно снижает капитальные издержки и порог входа на рынок для операторов таких сетей.
- Независимость от сетей сотовой связи, простота устройства и низкая стоимость модулей и базовых станций, наряду с другими характеристиками несотовых LPWAN, снижают расходы на их внедрение и эксплуатацию.

В частности, по результатам исследований за 2021 год, в семи из восьми различных сценариев внедрения узкополосных сетей совокупные расходы на внедрение и эксплуатацию самой распространенной несотовой LPWAN (LoRaWAN) составили от 22 до 67% расходов на внедрение NB-IoT для разных сценариев. Другие сотовые LPWAN оказались еще дороже. Единственный сценарий, при котором внедрение LoRaWAN оказалось на 20% дороже внедрения NB-IoT и практически равно стоимости внедрения LTE M – внедрение в сельской местности с высокой плотностью размещения устройств IoT.

- При этом несотовые LPWAN серьезно уступают технологиям на базе сотовой связи в гарантированном качестве обслуживания (QoS) и возможностях масштабирования. Кроме того, почти все несотовые узкополосные сети не способны поддерживать сервисы IoT в реальном времени, когда необходима двусторонняя передача данных с малой задержкой и поддержкой гарантированного качества сервиса.

Доминирующей технологией на рынке несотовых узкополосных сетей останется LoRa/LoRaWAN – проприетарная технология модуляции радиосигнала, сформировавшая вокруг себя продуктовую линейку от оборудования до ПО. На апрель 2022 года сети LoRaWAN были развернуты 170 операторами связи по всему миру, по сравнению со 103 операторами в 2019 году. КНР

и Франция входят в число мировых лидеров и в развитии сетей на базе LoRaWAN.

Преимущества сетей LoRaWAN.

- **Открытость.** Монопольный вендор чипов радиочастотных трансиверов для оборудования сетей LoRaWAN – компания Semtech (решение запатентовано). Однако сетевой протокол LoRaWAN целенаправленно развивается на базе открытого стандарта.
- **Экосистемный подход.** Головной альянс (LoRa Alliance) с более чем 500 участниками, существуют и другие альянсы и ассоциации.
- **Интегрированный стек и сертификация.** Продуктовая линейка LoRa на сегодняшний день охватывает разные уровни оборудования и устройств (датчики, сенсоры, модули связи и чипсеты, базовые станции и др.), ПО, сервисов и сетевых решений. На апрель 2022 года по этим категориям был сертифицирован 301 продукт, большую часть (185 шт.) составили устройства и оборудование. Это существенно выше числа сертификаций для NB-IoT и LTE M (менее 100 для каждой технологии). Это объясняется в частности тем, что для продуктов на базе сотовой связи необходим более сложный процесс сертификации, требующей радиочастотного лицензирования в большинстве стран.
- Более **низкие цены** на оборудование. Динамика стоимости модулей оконечных устройств приведена на рис. 3.

Вторым крупнейшим мировым игроком на рынке несотовых LPWAN остается Sigfox, «легкий» сверхузкополосный протокол французского происхождения.

Главная особенность рынка несотовых узкополосных сетей в России – параллельное развитие сразу нескольких технологий, в том числе отечественной разработки.

РАЗВИТИЕ LORAWAN В РОССИИ

LoRa. В конце 2023 года Росстандарт утвердил спецификацию LoRaWAN. Новый ГОСТ Р 71168-2023, который разработан на базе одноименного предварительного национального стандарта 2021 года, вступил в силу 1 июля 2024 года. По состоянию на октябрь 2020 года число подключенных модулей LoRaWAN в России превысило 1 млн, что составляет порядка 35–40% всех подключений к несотовым узкополосным сетям (2,5–2,7 млн). Основную долю подключений обеспечили сети компаний «ЭР-Телеком», «Ростелеком».

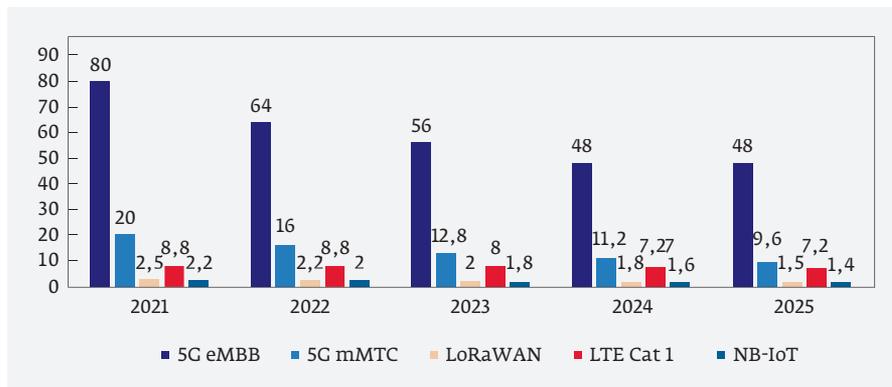


Рис. 3. Динамика стоимости модулей оконечных устройств для сетей IoT дальнего радиуса действия (1 долл. за 1 шт.) 2021–2025 годы.

Источник: Huawei Insight, LoRa Alliance

В части коммерческих сетей рынок сотовых LPWAN представлен тремя технологиями: NB-IoT, LTE M и LTE Cat 1/Cat 1 bis.

Российские решения в нише несотовых LPWAN включают три технологии, созданные с учетом наработок Sigfox и занимающие значимую долю российского рынка:

1. **XNB** (Extended Narrowband) – разработка компании ООО «СРТ» (торговая марка «Стриж Телематика»). Это единственная в России несотовая технология LPWAN, которая, помимо работы в нелицензируемых частотах (868,8 МГц), имеет возможность работать в лицензируемых частотах. Частоты, которые использует XNB, были выделены оператору спутниковой системы ГЛОНАСС (ООО «ГЛОНАСС ТМ»). Предполагалось, что технология будет использована для ряда инфраструктурных проектов федерального масштаба в нише транспортной телематики.

Протокол поддерживает двустороннюю связь дальностью более 15 км на открытой местности и разработан для обмена данными подключенных устройств на больших территориях с малыми затратами энергии. ООО «СРТ» развивает протокол с 2014 года, разработало IoT-платформу и предлагает достаточно широкую линейку отраслевых решений – от умного ЖКХ до сельского хозяйства и промышленности.

В то же время развитие XNB сдерживает закрытость его экосистемы. До сих пор технология развивалась как проприетарное запатентованное решение. В отсутствие государственных инфраструктурных проектов такая стратегия тормозит развитие протокола и его проникновение на рынок. В последние 1–2 года компания-разработчик стала ориентироваться на большую открытость

и построение рыночной экосистемы. Однако, это потребует времени.

2. **NB-Fi** – открытый узкополосный протокол, в России работает в нелицензируемом диапазоне 868,7–869,2 МГц со скоростью до 25 кбит/с и дальностью до 30 км на открытой местности. Стандарт NB-Fi может поддерживать до 4,3 млрд устройств в одной сети и в целях сокращения размера сообщений не использует IP-адресацию; для обмена данными используется API IoT-платформы компании-разработчика WAVIoT (ООО «Телематические Решения»). На август 2023 года решения на основе NB-Fi заняли значимую нишу на рынке – поставки устройств с поддержкой протокола превысили 2,1 млн. Позиции NB-Fi на российском рынке дополнительно укрепляет его утверждение в качестве национального стандарта в апреле 2022 года.
3. **Open UNB** – протокол, работающий на частоте и использующий сверхузкие полосы в нелицензируемом диапазоне 868,8 МГц. Протокол является открытым и реализован на оборудовании компании GoodWAN (ООО «РадиоТех»). В основе разработки лежит идея радикально «облегченного» протокола, позволяющего передавать минимально необходимый объем данных преимущественно в одностороннем режиме (от устройств к шлюзу) на малой скорости (до 300 бит/с). Преимуществами должны выступать высокая энергоэффективность и дальность связи (до 40 км, по данным разработчиков). Такие характеристики делают Open UNB потенциально перспективным для той же ниши рынка, к которой относятся и другие «облегченные» протоколы LPWAN, такие как Sigfox и NB-Fi, а также сотовый NB-IoT. Это прежде всего сегмент счетчиков в умном ЖКХ, сенсоры и датчики без внешних источников питания на инфраструктуре ТЭК и энергосетях. На 2022 год коммерческое применение Open UNB оставалось достаточно узким, но отдельные независимые от GoodWAN дистрибьюторы на рынке начали его продвижение.

Таким образом, российские технологии несотовых узкополосных сетей развиваются достаточно активно, но пока не достигают уровня лидеров рынка, которые обеспечивают свое преимущество за счет двух характеристик: зрелости технологии и ее открытости.

Следует отметить, что в России из двух основных технологий LPWAN – NB-IoT и LoRaWAN, рынок сдвигается в пользу NB-IoT за счет активного продвижения последнего сотовыми операторами и построенной развитой инфраструктуры.

Однако эти технологии могут существовать совместно: LoRaWAN можно использовать при недоступности сотовых сетей связи и есть необходимость в построении

сети. Если же стоит задача обеспечить LPWAN с гарантированным качеством в зоне крупного мегаполиса или на крупном промышленном предприятии, где уже развернута сеть Private LTE, то идеальным решением будет LTE/NB-IoT*.

Значимые преимущества LoRa перед NB-IoT, которые отмечают российские участники рынка – открытая архитектура, более долгая «жизнь» батарей (в 1,5 раза больше, чем NB-IoT), более высокая проникающая способность в помещениях сложной конструкции.

Недостатки LoRa: эта технология привязана к одному производителю чипов – Semtech. По мнению МТС, масштабные сети LoRa в России ни одним оператором развернуты не были, что означает низкую доступность технологии, и, как следствие, необходимость строительства инфраструктуры под реализацию каждого конкретного проекта.

БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ МАЛОГО РАДИУСА LAN/PAN

В совокупности сети локального и персонального доступа (Local Area Network, LAN, и Personal Area Network, PAN) продолжают обеспечивать львиную долю подключений для сегодняшнего Интернета вещей – 84,5%. По прогнозам на 2027 год, доля LAN/PAN в общем числе подключений IoT снизится до 80,4%.

Технологии LAN и PAN имеют ряд преимуществ перед «дальними» беспроводными сетями:

- лучшее проникновение сигнала в помещениях в ряде диапазонов;
- более высокая скорость передачи данных, особенно по сравнению с LPWAN;
- практически универсальная поддержка производителями коммуникационного оборудования, максимальная гибкость настроек и конфигураций сети;
- широкая поддержка технологий удаленной сетевой аутентификации оборудования (например, протокол RADIUS на базе стандарта IEEE 802.1X).

Организация сетей корпоративного и промышленного IoT чаще всего строится по следующей схеме:

- а. технология дальнего радиуса действия (или проводная связь) обеспечивает базовое покрытие территории и используется для организации транспортной или опорной сети (backhaul service);
- б. технологии малого радиуса действия обеспечивают «нижний этаж» связности на уровне интегрированных в основную сеть локальных подключений, в том числе внутри помещений.

* <https://cipr.ru/articles-2023/rossijskij-rynok-interneta-veshhej-voprosy-vybora-standarta-poiska-detalej-i-obespecheniya-bezopasnosti/>

Однако последние тренды в развитии LAN и PAN могут частично поменять эту картину. Растущее значение IoT ориентирует развитие технологий LAN и PAN под нужды и параметры промышленных применений M2M-коммуникаций:

- за последние несколько лет были разработаны новые версии наиболее широко используемых протоколов с эффективным радиусом сигнала до 1 км и более (например, Wi-Fi HaLow и Bluetooth LE);
- параллельно в этих же версиях протоколов реализованы решения, многократно снижающие их энергопотребление;
- в последних версиях используемых протоколов LAN и PAN широко внедряется поддержка массовых подключений к одной точке доступа (до 8 тыс. и более), наряду с поддержкой архитектур, оптимальных для M2M-взаимодействий (ячеистые одноранговые сети, mesh networks).

Такие разработки приближают сети LAN по своим характеристикам к сетям дальнего радиуса действия, а в случае дальнейшего развития в среднесрочной и долгосрочной перспективе (2030–2035 гг.) могут существенно размыть границу между ними.

ЛОКАЛЬНЫЕ БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ WI-FI

Яркий пример этих тенденций показывает развитие Wi-Fi. По консервативной оценке, не менее 50% всех подключений по Wi-Fi, то есть порядка 9 млрд, используются для M2M-коммуникаций.

До 2020 года Wi-Fi в основном использовался для подключения устройств IoT в рамках двух сценариев:

- подключения для применений IoT с небольшим числом устройств и компактной территорией, на которой разворачивается сервис (например, умный дом);
- для промышленных и корпоративных применений: точечное покрытие, дополняющее основную технологию связи (беспроводную сотовую связь либо магистральную проводную связь) на территории объекта.

С 2020 года идет процесс вывода на рынок двух наиболее значимых технических обновлений Wi-Fi с момента его создания, которые предназначены прежде всего для применения в IoT.

- В модификации шестого поколения протокола (Wi-Fi 6E) найдены инженерные решения, которые обеспечивают передачу данных на скоростях, сравнимых с 5G (до 1 Гбит/с и более), и существенно меньшую задержку сигнала. Wi-Fi 6E позволяет обслуживать большое количество клиентов в высоконагруженных сетях за счет поддержки новой версии модуляции (OFDMA). Также в протоколе реализована функция экономии расхода энергии подключенных устройств (Target Wake Time, TWT). В версии

6E все эти преимущества усиливаются за счет того, что для работы используются полосы частот суммарной шириной в 1200 МГц в новом для Wi-Fi диапазоне 6 ГГц, гораздо менее загруженном, чем «классические» диапазоны 2,4 и 5 ГГц.

- Продвижение Wi-Fi 6E на рынок, включая появление поддерживающих протокол роутеров, смартфонов и иных устройств, стало ускоряться после того, как 2 апреля 2020 года Федеральная комиссия по коммуникациям США освободила для нелицензируемого использования диапазон 6 ГГц. Доступ к этим полосам частот ранее был закреплен за вооруженными силами. За США последовали и другие страны, и с 2021 года география применения Wi-Fi 6E быстро расширяется.

Некоторые крупнейшие участники рынка коммуникационного оборудования уже оценили перспективы новой спецификации для промышленного IoT. Например, Siemens внедряет поддержку Wi-Fi 6E в собственной линейке оборудования для промышленных M2M-сетей ближнего радиуса действия (IWLAN), а также Cisco активно развивает линейку сетевого оборудования с поддержкой Wi-Fi 6/6E и продвигает новый протокол на рынок, позиционируя его в том числе для применений в промышленном IoT.

В результате сегодня Wi-Fi 6E – самая быстрорастущая технология локальных беспроводных подключений в мире. По оценкам участников рынка, в 2021 году глобальные продажи устройств с поддержкой новой версии протокола достигли 310 млн в мире, с перспективой роста до 1 млрд в 2025–2026 годах.

Помимо 6E, в семействе Wi-Fi к началу 2020-х годов появилась первая спецификация, спроектированная специально для подключения устройств и поддержки инфраструктуры IoT, – Wi-Fi HaLow (IEEE 802.11ah). Особенности протокола – расширенный до 1 км и более радиус действия вне помещений (outdoor), поддержка 8 тыс. подключений с одной точки доступа, узкополосная связь и сниженное энергопотребление, сравнимое по уровню с Bluetooth. Кроме того, HaLow имеет встроенный механизм безопасности (WPA 3) и является первой из всех версий Wi-Fi, которая работает в субгигагерцевом диапазоне (750–928 МГц). В конце 2021 года Wi-Fi HaLow был сертифицирован для применений в промышленном IoT. Ближайшие два года должны показать, насколько новое решение будет востребовано в своих целевых нишах: управлении промышленными платформами IoT в автоиндустрии, ТЭК и обрабатывающих производствах.

ПОСТРОЕНИЕ СЕТЕЙ НА БАЗЕ BLUETOOTH

Еще один широко используемый LAN-протокол, развитие которого стало определяться потребностями IoT, –

Bluetooth. По оценке ABI Research, Bluetooth обеспечивает 35% всех подключений на 2022 год. Это соответствует порядку 6 млрд подключенных «умных» устройств. Ежегодные поставки чипов Bluetooth достигли 5,1 млрд в 2022 году и, по прогнозам, вырастут до 7,0 млрд к 2026 году; около 40% из них составляют поставки для применений в IoT.

Сегодня Bluetooth используется для все более широкого спектра применений в IoT:

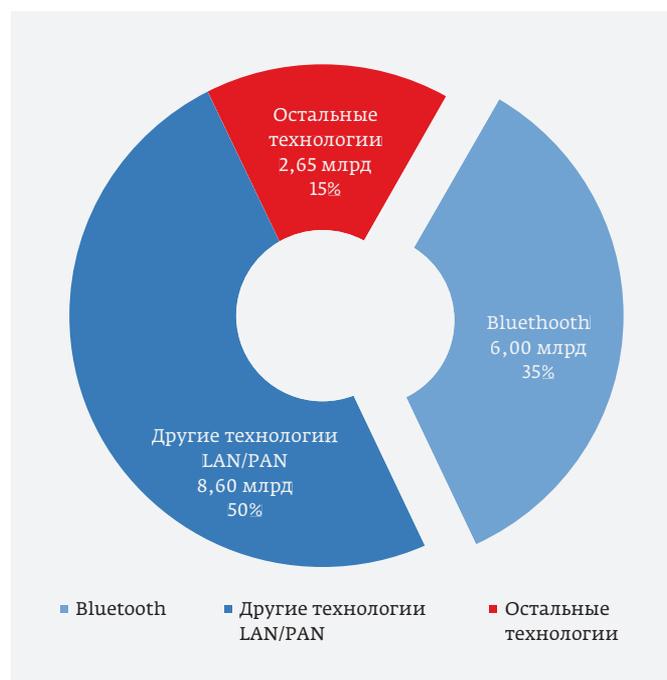


Рис. 4. Оценочная доля Bluetooth в подключениях IoT на 2022 год, %

- пользовательские носимые устройства: умные часы и фитнес-трекеры, умные ошейники для домашних животных, AR/VR-гарнитуры, умные очки и прочее;
- умные медицинские приборы: подключенные тонометры, портативные устройства ультразвуковой и рентгеновской диагностики и прочее;
- системы локального позиционирования в реальном времени (RTLS) и навигации в помещениях (IPS): маячки (beacons) с Bluetooth широко используются для сервисов локальной навигации внутри зданий и сооружений в промышленности, культурных объектах и музеях, административных учреждениях и т.д.;
- умные цифровые замки, турникеты и иные системы контроля физического доступа и перемещения;
- оснащение радиометками Bluetooth личных вещей и предметов (кошельки, ключи, сумки и прочее) на случай их потери или для более быстрого поиска в помещении;
- управление беспроводными сенсорными сетями (WSN), к которым подключаются датчики температуры, освещенности, влажности и прочее;
- управление системами домашней, офисной и промышленной автоматизации (контроль освещения, вентиляции и кондиционирования, отопления).

Во второй части статьи будут рассмотрены конкретные примеры отечественных навигационных, навигационно-связных и радиомодулей, которые разработаны специалистами АО «НИИМА «Прогресс». Так же отражены сведения о нахождении их в реестрах 719 и 878 ПП РФ. Освещены тенденции новых планируемых разработок, в частности, в направлении модулей новых поколений Wi-Fi, Bluetooth и стандарта 5G.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 1960 руб.

РАЗВИТИЕ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ОТ 5G ADVANCED К 6G: ПРОЕКТЫ, ТЕХНОЛОГИИ, АРХИТЕКТУРА

В.О.Тихвинский, С.В. Терентьев, В.А. Коваль, Е.Е. Девяткин

ИЗДАНИЕ 2-Е, ДОПОЛНЕННОЕ

Во втором издании книги рассмотрены перспективы эволюционного развития и стандартизации технологий мобильной связи пятого поколения 5G Advanced / IMT-2020 на пути к 6G/IMT-2030 международными организациями связи, представлены планы развития технологий 5G Advanced партнерским проектом 3GPP в релизах 17 и 18, проанализированы основные бизнес-модели услуг и индустриальные приложения в сетях 5G Advanced/IMT-2020, рассмотрены цепочки создания стоимости услуг 5G. Проведена оценка возможностей выделения частотных диапазонов для развития сетей 5G и 6G с учетом повестки дня ВКР-23, рассмотрены особенности построения и архитектура сети радиодоступа 5G RAN фазы 3 (релиз 17), виды сигналов, нумерология их формирования и частотные каналы, используемые в сетях радиодоступа 5G Advanced. Для специалистов, студентов и магистрантов инфокоммуникационных специальностей университетов.

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2024. – 532 с., ISBN 978-5-94836-690-6

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📞 +7 495 956-3346; ✉ knigi@technosphera.ru, sales@technosphera.ru



РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО КОНДЕНСАТОРОВ

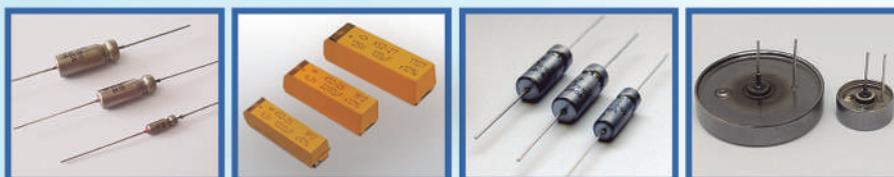
Оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы K50-...

Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, 3,2 ... 485
Номинальная емкость, $C_{ном}$, мкФ, 1,0 ... 470 000
Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °C -60 ... 125



Объемно-пористые танталовые конденсаторы K52-...

Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, 3,2 ... 200
Номинальная емкость, $C_{ном}$, мкФ, 1,5 ... 60,000
Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °C -60 ... 175



Оксидно-полупроводниковые танталовые конденсаторы K53-...

Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, 2,5 ... 63
Номинальная емкость, $C_{ном}$, мкФ, 0,033 ... 2 200
Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °C -60 ... 175



Суперконденсаторы K58-...

Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, 2,5 ... 2,7
Номинальная емкость, $C_{ном}$, Ф, 1,0 ... 4 700
Диапазон температур среды и эксплуатации, $T_{ср}$, °C -60 ... 65



Накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов НЭЭ, МИК, МИЧ, ИТИ

Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В, 5,0 ... 48
Номинальная емкость, $C_{ном}$, Ф, 0,08 ... 783
Диапазон температур среды при эксплуатации, $T_{ср}$, °C -60 ... 65



Россия, 427968, Удмуртская Республика, г. Сарапул, ул. Калинина, д. 3
Тел.: (34147) 2-99-53, 2-99-89, 2-99-77, факс: (34147) 4-32-48
e-mail: elecond-market@elcudm.ru; www.elecond.ru