Новые модули для сетей LPWAN Cinterion EXS82/62 и TX82/62

с поддержкой eMTC и NB-IoT

В феврале 2019 года французский концерн Thales (Euronext Paris) завершил длившийся 15 месяцев процесс приобретения Gemalto. В начале 2019 года подразделение Thales — Gemalto анонсировало новое семейство модулей для сетей LPWAN Cinterion EXS82/62 с поддержкой Cat M1 и M2, Cat NB1 и Cat NB2. Кроме сетей LPWAN, модуль EXS82 может работать в стандартных сетях 2G. Образцы серии EXS82/62 доступны начиная с октября 2019 года. В первом квартале 2020 года планируется выпуск образцов миниатюрной серии TX82/62. Модули семейства EXS82/62 соответствуют стандартам 3GPP Rel. 13 и Rel. 14.

Виктор Алексеев, к. ф.-м. н.

Сеть NB-IoT. Новый стандарт для сотовых сетей связи

Основные параметры сетей eMTC и NB-IoT в стандартах 3GPPP Rel.13/14

В феврале 2019-го французский концерн Thales (Euronext Paris) завершил длившийся 15 месяцев процесс приобретения Gemalto — одной из ведущих фирм в области оборудования для цифровых телеметрических систем аутентификации и безопасности [1].

В настоящее время деятельность Thales Group охватывает такие сферы, как системы цифровой идентификации и безопасности, космос, авиация, наземный и морской транспорт, системы контроля доступа, охранные системы.

Рис. 1. Развитие систем цифровой безопасности — одно из приоритетных направлений Thales — Gemalto [1]

Приобретение фирмы Gemalto концерном Thales, с одной стороны, расширяет области деятельности Thales Group, а с другой — предоставляет новые финансовые и технологические возможности производителю беспроводных модулей Cinterion Wireless Modules. Новый союз Thales — Gemalto одним из главных направлений своей деятельности считает развитие систем цифровой безопасности, в том числе и для сетей 5G IoT (рис. 1).

В начале 2019 года подразделение Thales — Gemalto анонсировало новое семейство модулей для сетей LPWAN Cinterion EXS82/62 с поддержкой eMTC (Cat M1) и NB-IoT (Cat NB1 и Cat NB2). Кроме сетей LPWAN, модуль EXS82 может также работать в стандартных сетях 2G. Инженерные образцы этой серии доступны начиная с октября 2019 года. В первом квартале 2020 года планируется выпуск инженерных образцов миниатюрной серии TX82/62.

Модули семейства EXS82/62 соответствуют стандартам 3GPP Rel. 13 [2] и Rel. 14 [3].

В технической литературе встречаются различные наименования устройств и технологий LPWAN, и об этом стоит дать дополнительные пояснения. В стандартах сетей LPWAN, разработанных рабочими группами 3GPPP, под аббревиатурой MTC подразумеваются технологии Machine-Type Communications. Устройства пользователя именуются UE (User Equipment).

В стандартах 3GPPP введено несколько названий UE:

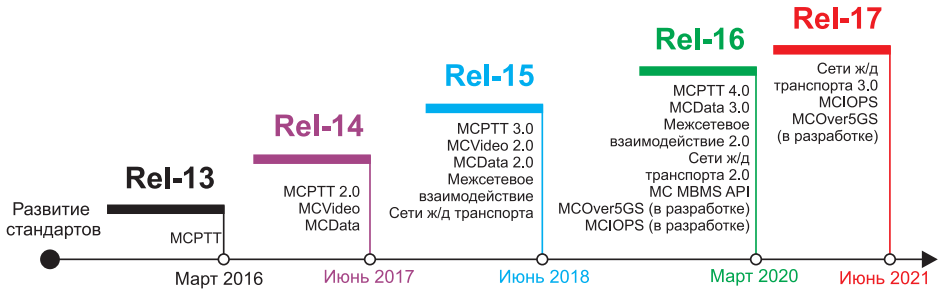

Рис. 2. Эволюция стандартов для сетей LPWAN [5]

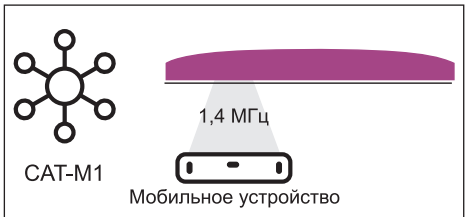

Рис. 3. Технология широкополосного доступа eMTC: полоса 1,4 МГц и скорости передачи до 1 Мбит/с [7]

- Cat-1 — LTE Rel. 8, 10 Мбит/с;
- Cat-0 — LTE, IoT, Rel. 12, 1 Мбит/с, полоса 20 МГц;
- Cat-M1 — eMTC, Rel. 13, 1 Мбит/с, полоса 1.4 МГц;
- Cat-M2 — LTE-MTC, Rel. 14, 7 Мбит/с, полоса 5 МГц;
- Cat-NB1 — NB-IoT, Rel. 13, DL 26, UL 66 кбит/с, полоса 180 кГц, мощность 23 и 20 дБм;
- Cat-NB2 — NB-IoT, Rel. 14, DL 120, UL 160 кбит/с, полоса 180 кГц, мощность 14 дБм.

В стандарте 3GPPP Rel. 12 впервые появился устойчивый термин LTE-MTC, который обозначает сети MTC, базирующиеся на существующих сетях LTE. Позднее в Rel. 13 были стандартизованы усовершенствованные устройства UE Cat-M1. Для новой технологии было введено обозначение eMTC (enhanced Machine Type Communication). Другое правильное название — LTE Cat-M1. В Rel. 14 был определен новый класс устройств UE Cat M2. Эту технологию принято называть eMTC Rel. 14. Сети Rel. 14, Rel. 13, Rel. 12 совместимы сверху вниз. Поэтому в сетях Rel. 14 могут работать устройства Cat M1 и Cat M2.

С появлением Rel. 14 все чаще в публикациях GSMA стал встречаться термин LTE-M для описания всех сетей MTC, предназначенных для IoT. Важно подчеркнуть разницу между eMTC и сетями LTE-M. В плане совместимости сети LTE-M включают сети eMTC. Часто оба термина неправомерно используются взаимозаменяемо.

В данной статье термины eMTC, Cat-M1, NB-IoT, Cat-NB1 относятся к стандарту 3GPPP Rel. 13. Термины Cat-M2, Cat-NB2 употребляются в контексте стандарта 3GPPP Rel. 14.

Специалисты прогнозируют, что к 2024 году в мире будут функционировать более 27 млрд устройств в сетях Low Power Wide Area Network (LPWAN) [4]. Все сети LPWAN можно разделить на два основных класса: сети нелицензируемого диапазона частот ISM и сети лицензируемого диапазона частот 2G, 3G, 4G, LTE.

Основные аспекты технологий для лицензируемого диапазона eMTC и NB-IoT, которые поддерживаются новыми сериями EXS82/62 и TX82/62, стандартизированы в документах 3GPPP Rel. 13 и Rel. 14. Работы по стандартизации устройств сетей LPWAN продолжаются в рамках рабочих групп Rel. 15/16/17 (рис. 2).

Технология широкополосного доступа eMTC Rel. 13 (enhanced Machine Type Communication) описывает в общем виде работу мобильных устройств категории Cat-M1 в сетях LPWAN [6]. Отличительными чертами eMTC являются: широкая полоса; относительно большие скорости передачи данных, микроэнергопотребление; уровень покрытия 156 дБ (рис. 3).

В существующих сетях мобильной связи LTE Rel. 8/11 используются полосы пропускания с шириной канала: 1,4, 3, 5, 10, 15, 20 МГц. Из этих значений полос пропускания в стандарте eMTC выбрано только одно значение ширины канала — 1,4 МГц (физический ресурсный блок — 6 PRB). Остальные отмеченные полосы пропускания оставлены для устройств стандарта LTE Rel. 8/11. Стандартное мобильное устройство пользователя (User Equipment — UE) для технологии eMTC Cat M1 занимает полосу пропускания 1,4 МГц внутри полосы LTE Rel. 8 шириной 20 МГц. Технология eMTC Rel. 13 поддерживает только передачу небольших пакетов данных (до 1000 бит) со скоростями до 1 Мбит/с.

Поскольку eMTC разрабатывалась как технология для IoT на базе сетей мобильной связи LTE, то основным критерием была минимально необходимая функциональность, обеспечивающая передачу небольших объемов данных простыми устройствами с батарейным питанием. Поэтому в этой технологии были отброшены избыточные для IoT функции. Вместе с тем в eMTC сохранены основные характеристики стандарта LTE Rel. 8/11, такие, например, как кодировки; распределение спектра частот; размещение поднесущих; длительности кадров и подкадров; базовые символы и т. д. В стандарте eMTC используются такие же методы доступа, как и в LTE Rel. 8, а именно частотный OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) для направления «вниз» и временной — SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) 16 QAM для направления «вверх». Во многом благодаря перечисленным параметрам сети eMTC Rel. 13 могут быть размещены поверх существующих стандартных сетей мобильной связи LTE Rel. 8/11.

В сетях мобильной связи LTE (Rel. 8/11) имеются каналы трех уровней: логические, транспортные и физические. Подробное описание этих каналов можно найти в [8]. В стандарте eMTC используются не все каналы LTE, а только PUCCH, EPDCCH, PRACH, PUSCH, PDSCH, PBCH, MPDCCH.

Следует отметить различия между LTE Rel. 8/11 и eMTC. Некоторые стандартные каналы LTE Rel. 8, такие как физический канал передачи формата (Physical Control Format Indicator Channel — PCFICH) и физический канал для передачи HARQ ACK/NACK (Physical Hybrid ARQ Indicator Channel — PHICH), в стандарте eMTC не используются.

На физическом уровне в eMTC задействован расширенный физический канал управления «вниз» (Enhanced Physical Downlink Control Channel — EPDCCH) и физический канал для передачи информации «вниз» с разделением пользователей (Physical Downlink Shared Channel — PDSCH). Также в стандарте eMTC введен дополнительный физический канал управления по нисходящей линии связи MTC (Physical Downlink Control Channel — MPDCCH). Этот специальный тип PDCCH предназначен для работы с ограниченной пропускной способностью. Схема пересылки кадров по каналу PDSCH показана на рис. 4. Аналогично тому, как это реализовано в канале EPDCCH, пользовательские данные передаются в подкадре MPDCCH. При этом данные PDSCH не могут передаваться в том же самом

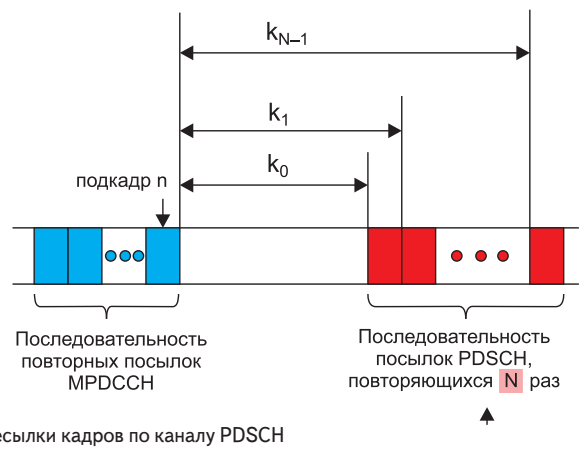

Рис. 4. Схема пересылки кадров по каналу PDSCH

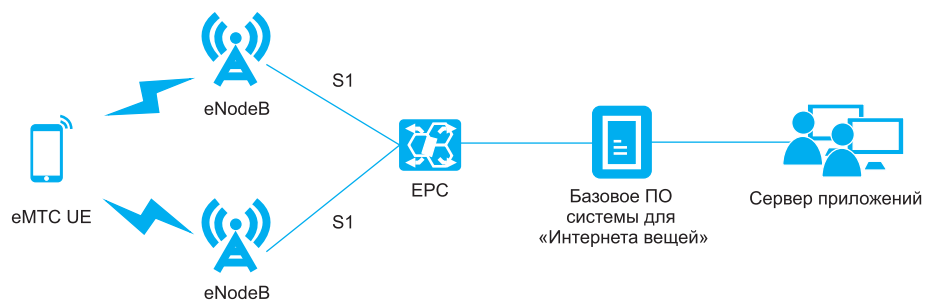

Рис. 5. В сетях eMTC данные передаются между сотовыми базовыми станциями аналогично LTE Rel. 8/11 [10]

фрейме. Поэтому покадровое распределение PDSCH несколько сложнее и менее надежное по сравнению с LTE Rel. 8. Поскольку в eMTC используется только один частотный интервал 1,4 МГц, то для улучшения надежности данные по каналу PDSCH могут передаваться повторно несколько раз.

В стандарте Rel. 13 описаны мобильные устройства (UE) с полосой 1,4 МГц, которые относятся к классу Cat M1. Мобильные устройства Cat M1 настроены на центр 6 PRB в ожидании контрольной информации. Когда UE получит разрешение на сеанс связи с базовой станцией, ему будут выделены соответствующие физические ресурсные блоки (вплоть до 6 PRB) на любом участке внутри рабочего спектра. В этой технологии используется одиночная антенна (SISO).

Таким образом, при минимальных доработках оборудования базовых станций можно реализовать одновременное обслуживание десятков тысяч мобильных устройств «Интернета вещей» и современных полнофункциональных смартфонов, гаджетов, ПК на сетях LTE, избегая при этом возможных коллизий между этими устройствами.

В стандарте Rel. 13 используется расширенный интервал eDRX (Extended Discontinuous Reception), позволяющий увеличить интервалы ожидания обязательных сигнальных сообщений до 52 мин.

Механизмы eDRX и PSM (Power Save Mode) дают возможность заметно снизить энергопотребление мобильных устройств. Поэтому UE eMTC могут длительное время работать от небольших аккумуляторных батарей. Теоретически максимальное время автономной работы мобильного устройства eMTC от батарейки 5 Вт·ч при передаче 200 бит данных в день может превышать десять лет.

За счет таких механизмов, как, например, повышение пиковой мощности для полезных и информационных сообщений (power boosting PB), многократное повторение сообщений (retransmission RT) и упрощение алгоритма передачи данных (relaxing performance requirements RPR), в стандарте eMTC обеспечивается покрытие вплоть до 155,7 дБ.

Для простых мобильных устройств IoT многоступенчатая процедура идентификации стандарта LTE Rel. 8 не требуется. Поэтому в стандарте eMTC начальный этап связи существенно упрощен.

Поскольку в технологии eMTC передача данных реализована между сотовыми базовыми станциями аналогично LTE Rel. 8/11, она может быть использована для мобильных применений. В случае если транспортное средство переместилось из одной точки в другую, пересекая при этом несколько сетевых ячеек, мобильное устройство Cat M1 будет вести себя так же, как сотовый телефон, соединяясь с разными БС (рис. 5).

Другим важным преимуществом eMTC является поддержка голосовой функциональности через VoLTE (голос поверх LTE).

Узкополосная технология Narrow-Band IoT

Узкополосная технология Narrow-Band IoT также поддерживается новыми модулями Cinterion EXS82/62 и TX82/62. Технология NB-IoT, базирующаяся на методе узкополосной радиосвязи (Narrow band), в общем виде описана в GPPP Rel. 13 (2016 г). Позже в Rel. 14 и Rel. 15 были приняты дополнения и уточнения. Работы по совершенствованию стандартов NB-IoT продолжаются в проектах 3GPPP Rel. 16 и Rel. 17. В англоязычной литературе этот стандарт также называют LTE Cat NB1 Rel. 13. Максимальные скорости передачи в технологии NB-IoT составляют примерно 70 кбит/с (GMSK). Ширина полосы 180 кГц.

Технология NB-IoT была разработана с целью улучшения покрытия для таких приложений, которые находятся в труднодоступных местах, например подвалы, ангары, близко стоящие здания и т. д. Благодаря характерным особенностям технология NB-IoT обеспечивает дополнительное покрытие в +20 дБ по сравнению с традиционной системой LTE. Это соответствует 164 дБ MCL.

Схема работы сети NB-IoT показана на рис. 6.

Сети NB-IoT имеют архитектуру, аналогичную LTE. Сигналы мобильного пользовательского устройства UE через универсальную усовершенствованную сеть радиодоступа (Universal Terrestrial Radio Access Network eUTRAN) поступают на блок C-SGN (Cellular IoT Serving Gateway Node). В состав блока C-SGN входят узел управления потоками и подключениями, а также сервисный шлюз (Serving Gateway — SGW). Через шлюз SGW передаются все IP-пакеты, которые относятся к UE. Кроме этого, SGW хранит всю информацию о потоках UE и накапливает информацию, поступающую с базовой станции в то время, когда мобильное устройство переходит в спящий режим. Сеть eUTRAN, включающая базовые станции eNodeBs, поддерживает уровни PHY, MAC, PDCP, RLC и RRC. Как и в LTE, в технологии NB-IoT рассматриваются два основных канала коммуникаций: Control Plane (CP), предназначенный для обмена служебными сообщениями, и User Plane (UP), используемый для передачи данных пользователя.

Технология NB-IoT позволяет передавать данные как в стандартном варианте с использованием интернет-протоколов и присвоением IP-адреса, так и в режиме NIDD (non-IP data delivery). В классическом варианте данные передаются по цепочке: MME (Mobility Management Entity) — SGW — PGW (PDN Connection Gateway) — CioT Services (AS) (рис. 5). При использовании SCEF мобильному устройству не присваивается собственный IP-адрес, и данные передаются без использования протокола IP. В стандарте Rel. 13 в качестве идентификатора UE вместо IP-адреса вводится External ID в формате <Local Identifier>@<Domain Identifier>. Внешний адрес External ID привязывается к конкретной SIM-карте (IMSI). Кроме того, стандарт определяет групповой идентификатор External group ID, объединяющий индивидуальные external ID и позволяющий реализовать отправку данных или команд управления заданному множеству устройств [12]. Стандарт Rel. 13 вводит новый элемент сетей LPWAN, получивший название Service capability exposure function SCEF), который предназначен для безопасного выбора сервисных услуг, предоставляемых внешними

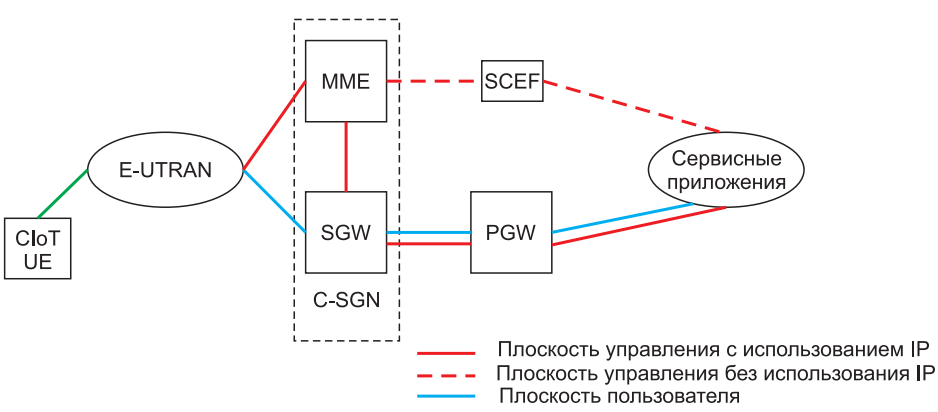

Рис. 6. Схема работы NB-IoT в сети LTE [11]

серверами через интерфейс API. В режиме NIDD блок SCEF выступает в роли основной точки подключения к серверам приложений (Application Server — AS), которые могут получать данные и управлять устройствами через единый интерфейс прикладных программ (API). В качестве интерфейса между SCEF и MME для передачи non-IP-данных используется интерфейс T6a.

Наличие SCEF дает возможность разработчикам отказаться от своих собственных систем идентификации и аутентификации мобильных устройств (UE) и воспользоваться услугами сторонних операторов [13]. В РФ подобные услуги предлагает, например, МТС [14].

Сеть NB-IoT работает параллельно со стандартной сетью LTE в выделенных частотных интервалах. В стандарте 3GPP Rel. 13 предусмотрено три варианта частотных диапазонов LTE для технологии NB-IoT (рис. 7).

Варианты распределения частот технологии NB-IoT:

- Stand Alone — использование несущей стандартной технологии GSM для полосы NB-IoT;
- Guard Band — в качестве рабочего диапазона используется защитный интервал стандартного варианта технологии LTE Rel. 8;
- In Band — рабочая полоса частот находится внутри разрешенного спектра стандартного варианта технологии LTE Rel. 8.

При первом включении мобильные устройства NB-IoT способны самостоятельно выбирать один из трех возможных сценариев работы, которые им предлагает базовая станция. Аналогично тому, как это организовано в стандартных сетях LTE Rel. 8, мобильные устройства NB-IoT при регистрации в сети ищут опорную несущую в растре 100 кГц. При этом опорная несущая может быть размещена только в определенных ресурсных блоках PRB.

В технологии NB-IoT необходима минимальная полоса пропускания 180 кГц как для передачи данных от базовой станции к мобильному устройству, так и в обратном направлении. Поэтому операторы существующих сетей 2G могут использовать одну несущую (200 кГц) для работы с устройствами NB-IoT в режиме Stand Alone. Наиболее просто этот режим можно реализовать на существующих сетях в диапазонах 700, 800 и 900 МГц.

Если существующая сеть поддерживает 2G, 3G, 4G, то технология NB-IoT позволяет использовать все три полосы, показанные на рис. 6. В этом случае в сетях LTE для устройств IoT предполагается использовать диапазон 800 МГц.

Операторы сетей LTE могут реализовать поддержку NB-IoT внутри существующих сетей за счет выделения одного из ресурсных блоков (PRB) 180 кГц под нужды LTE Cat NB1.

При работе в режиме In Band технология NB-IoT использует основные базовые характеристики классического LTE Rel. 8/11, такие, например, как методы доступа к среде OFDMA (DL) и SC-FDMA (UL), канальное кодирование, согласование скорости передачи, побитовое перемежение и другие.

В технологии NB-IoT обмен данными реализуется с помощью транспортных блоков (Transport block — TB), которые состоят из отдельных ресурсных единиц (Resource units). В зависимости от количества полезной информации и схемы модуляции (Modulation coding scheme — MCS) один TB может содержать от одного до десяти RU. Размер TB в NB-IoT Rel. 13 составляет 680 бит в направлении DL и 1000 бит в направлении UL.

В технологии NB-IoT передача данных от UE к eNodeB реализуется через сигнальный канал после установления соединения SRB (Signaling Radio Bearer) с использованием протокола NAS (Non-Access Stratum). При этом, в отличие от классического LTE, нет необходимости в установке DRB (Data Radio Bearer) на несущей частоте пользовательских данных [16]. При передаче данных от мобильного устройства к базовой станции в NB-IoT, аналогично классическому LTE Rel. 8, применяется интервал между поднесущими, равный 15 кГц. Так же, как и в стандарте LTE Rel. 8, в базовом варианте технологии NB-IoT длительность кадров, подкадров и интервалов между фреймами составляет 0,5, 1, 10 мс соответственно.

Весь радиоресурс устройства UE NB-IoT разбит на ресурсные элементы (Resource element — RE). При передаче данных от мобильного устройства к базовой станции (UL) в технологии NB-IoT Rel. 13 несущие в частотной области используют только один физический ресурсный блок LTE RB, который включает 12 поднесущих по 15 кГц. Таким образом, 12 поднесущих, каждая по 15 кГц, определяют полосу 180 кГц. Также NB-IoT позволяет передавать данные в направлении UL с 48 поднесущими по 3,75 кГц каждая. Ресурсные элементы RE образуют ресурсные единицы RU.

Возможны два режима работы мобильного устройства. В первом случае UE передает сигнал для базовой станции на одной поднесущей в 15 кГц. Передача на одной поднесущей получила название Multi-tone transmission — MTT. В этом режиме значительно увеличена спектральная плотность сигнала и отношение сигнал/шум. В другом варианте мобильное устройство UE может передавать данные на нескольких — 3, 6 или 12 поднесущих по 15 кГц каждая. Этот режим называется Multi-tone transmission — MTT. В данном случае сокращается время передачи и увеличивается срок службы батареи.

От базовой станции к мобильному устройству в технологии NB-IoT передача осуществляется с помощью трех физических каналов: узкополосный физический радиовещательный канал (Narrowband Physical Broadcast Channel — NPBCH), узкополосный физический контрольный канал передачи «вниз» (Narrowband Physical Downlink Control Channel — NPDCCH) и узкополосный физический мультиплексный канал передачи «вниз» (Narrowband Physical Downlink Shared Channel — NPDSCH).

Мобильное устройство NB-IoT поддерживает передачу данных по следующим физическим каналам: NPRACH, NPUSCH, DMRS, NPDSCH, NPDCCH, NRS, NPSS, NSSS, NPBCH.

В отличие от стандартного LTE Rel. 8 в технологии NB-IoT работа физических каналов и транслируемые сигналы предварительно распределяются по времени.

Так же, как и в других технологиях стандарта 3GPP Rel. 13, в NB-IoT поддерживаются режимы энергосбережения Power Saving Mode (PSM) и расширенные интервалы ожидания обязательных сигнальных сообщений Extended Discontinuous Reception (eDRx). В режиме PSM полного сна устройство пользователя NB-IoT не может быть активировано базовой станцией, оставаясь при этом зарегистрированным в сети. В таком состоянии мобильное устройство UE Cat NB1 может находиться до 413 дней [17]. Интервал eDRX для устройств NB1 составляет от нескольких минут до нескольких часов. Из режимов энергосбережения UE NB1 могут быть выведены с помощью часов реального времени RTC либо через специальные команды управления сенсоров. Мобильное устройство NB-IoT с покрытием 164 дБ может работать более 10 лет от одной батарейки [18].

Для обеспечения заявленного в Rel. 13 значения покрытия, равного 164 дБ MCL, в технологии NB-IoT может быть задействовано до 128 повторных передач в восходящей линии связи и до 2048 в нисходящей линии. Поэтому технология NB-IoT очень устойчива к длительным задержкам, вплоть до 10 с.

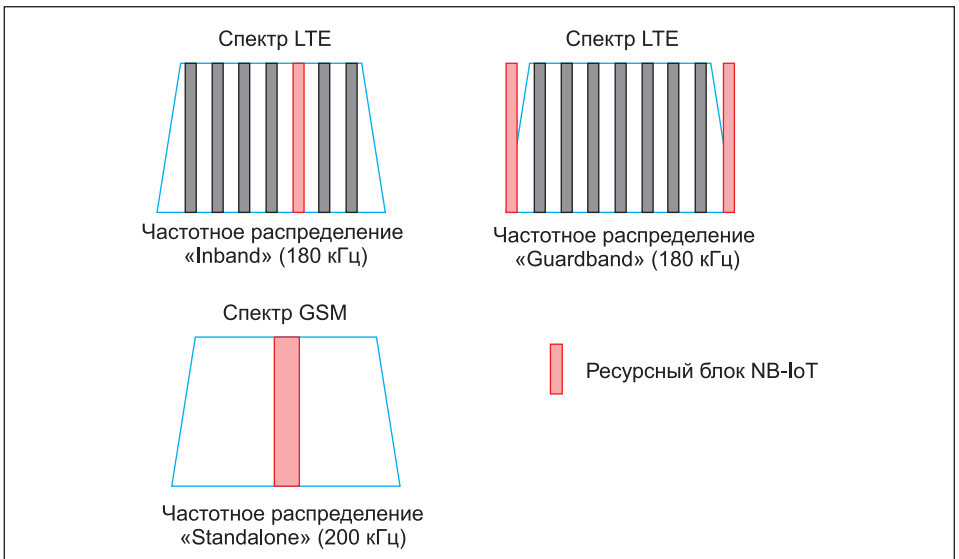

Рис. 7. Варианты частотных диапазонов технологии NB-IoT в сетях LTE [15]

Так как технология NB-IoT использует ограниченные схемы модуляции BPSK и QPSK с поддержкой только одной антенны в восходящей и нисходящей линиях связи, конструкция мобильных устройств существенно упрощается.

Важной особенностью NB-IoT, на которую следует обратить внимание, является поддержка множества устройств IoT при использовании только одного ресурсного блока (PRB) в обоих направлениях (DL и UL). Это достигается за счет того, что в технологии NB-IoT введена дополнительная поднесущая NPUSCH для режима UL, позволяющая существенным образом оптимизировать передачу данных в ресурсном блоке. Кроме того, эта технология позволяет использовать метод с несколькими несущими. Вследствие этого одна базовая станция может поддерживать до 52 500 мобильных устройств NB-IoT.

Стандарты 3GPP Release 14: NB-IoT и LTE-M

В 3GPPP Release 14 были модифицированы стандарты NB-IoT и LTE-M. Поскольку работу устройств Cat M2 новые модули EXS82/62 и TX82/62 не поддерживают, эти вопросы в данной статье не рассматриваются.

В то же время новые модули Cinterion EXS82/62, TX82/62 поддерживают работу как Cat NB1, так и Cat NB2. Поэтому имеет смысл подробнее сказать об основных новых чертах технологии NB-IoT Rel. 14 [20, 21].

В стандарте 3GPP Release 14 Enhanced NB-IoT (Rel. 14) введен новый дополнительный класс мобильных устройств Cat NB2 (14 дБм, cl 6). Таким образом, мобильные устройства NB2 поддерживают три класса мощности: 23, 20 и 14 дБм. С уменьшением мощности в устройствах NB2 третьего класса снизилось энергопотребление и увеличился срок службы батареи. Однако при этом уменьшилось и покрытие, которое для NB2 третьего класса составляет 155 дБ MCL.

Пять новых полос частот LTE стандарт Rel. 14 регламентирует для технологии NB-IoT: 11, 21, 25, 31, 70. Расширенный частотный диапазон позволяет устройствам NB2 в принципе работать только в режиме частотного разделения сигнала FDD, когда одна частота используется для UL, а другая — для DL.

Две операции HARQ представлены в Rel. 14. За счет этого размер ресурсного блока достиг 1352 бит. Длительность всей посылки для NB2 увеличена до 34 мс. Максимальное количество битов транспортного блока, полученных за период TTI, составляет для NB1 и для NB2 соответственно 680 и 2536. В старой редакции стандарта Rel. 13 для устройств NB1 допускаются только одна операция HARQ и максимальный размер транспортного блока 680 бит, при длительности всей посылки 26 мс. Отмеченные новые изменения позволили увеличить пиковые скорости передачи за счет уменьшения промежутков времени между передачами данных и увеличения производительности декодеров.

Размер транспортных блоков (TBS), которые устройство NB-IoT NB2 может передавать и принимать для направлений нисходящей линии связи и восходящей линии связи, увеличен до 2536 бит. Кроме того, как было отмечено, два процесса HARQ позволяют задействовать дополнительные объемы данных — 1352 бит для восходящей линии связи и 1800 бит для нисходящей линии связи. За счет этого в мобильных устройствах UE NB2 удалось повысить скорости передачи данных в нисходящем потоке до 120 кбит/с и в восходящем потоке до 160 кбит/с.

Новый механизм геолокации Location services LCS, использующий технологию Observed Time Difference Of Arrival — OTDOA, описан в Rel. 14 для устройств NB-IoT Cat NB2.

Схема работы NB2 в режиме позиционирования в сетях NB-IoT показана на рис. 8.

При перемещении устройства NB2 в зоне действия сети NB-IoT это UE постоянно принимает сигнал от всех находящихся поблизости ячеек.

Причем отслеживается временной интервал, который соответствует моментам получения устройством UE сигналов из двух разных ячеек.

Если сигнал в ячейке 1 принимается в момент t1, а сигнал от ячейки 2 принимается в момент t2, то OTDOA определяется как t2–t1.

В документах Rel. 14 рассматриваются модернизированные опорные сигналы позиционирования (Positioning Reference Signals — PRS).

Введение этих модернизированных сигналов помогает отслеживать движение на больших скоростях в условиях сильных помех. В Rel. 14 приняты новые алгоритмы вычисления координат объектов на основе OTDOA и PRS.

Для того чтобы обеспечить лучшее качество приема сигналов PRS от «ячейки со слабым сигналом», которая имеет тот же сдвиг частоты PRS, как и «ячейка с сильным сигналом», сигналы PRS в «сильной ячейке» при необходимости могут быть искусственно подавлены. Этот эффект в англоязычной литературе получил название PRS muting in LTE OTDOA. Поскольку в русскоязычной литературе нет устоявшегося названия данному эффекту, в дальнейшем в статье будет использован термин PRS muting.

Битовая маска этой опции (LTE PRS muting pattern) определена в Rel. 13 как 2; 4; 8; 16 бит для каждой ячейки. Модернизированные устройства NB2 Rel. 14 могут устанавливаться в различных быстродействующих индустриальных системах реального времени, а также в системах управления беспилотными транспортными средствами. Также данные устройства найдут применение в качестве дополнения к спутниковым навигационным системам для зон, где пропадают или вообще отсутствуют сигналы GNSS.

Переключение в режим глубокого сна с помощью механизма Release Assistance Indicator (RAI) предложено в Rel. 14. Суть нового режима заключается в том, что мобильные устройства NB2, кроме использования таймеров T3412 и T3324, рекомендованных в Rel. 13, теперь имеют возможность дополнительно экономить время и энергоресурсы с помощью RAI. Кроме того, в Rel. 14 описана схема переключения в энергосберегающий режим PSM с помощью процедуры пейджинга. Пейджинговые сообщения рассылаются конкретным UE в режиме RRC_IDLE mode, что позволяет использовать их в качестве команд выхода из состояний PSM и eDRX, а также для инициализации процесса группового обновления прошивки.

Многоадресная передача NB-IoT Multicast рассмотрена в спецификации Rel. 14. Данная опция предназначена для обновления программного обеспечения, синхронизации работы группы устройств, а также для одновременной рассылки команд множеству мобильных устройств. С этой целью используется протокол Single Cell-Point to Multipoint — SC-PTM. Мобильное устройство может принимать информацию NB-IoT Multicast, только находясь в режиме idle mode (RRC_IDLE). Режим Multicast может быть полезен в приложениях, где необходимо управление большой группой устройств с помощью одной команды, например, в системах уличного освещения. Более подробную информацию по этому вопросу можно найти в статье [23].

До пятнадцати дополнительных несущих в Rel. 14 расширен режим работы multi carrier mode. В этом случае основная несущая (anchor carrier) применяется для синхронизации при начальной установке соединения, а другие несущие (Non-Anchor carrier) выбираются только для передачи данных. В случае когда UE работает в режиме In Band, только PRB внутри LTE System Band может конфигурироваться с anchor carrier. В соответствии с Rel. 14 NB-IoT может поддерживать до 15 вспомогательных несущих (non-anchor carriers) в дополнение к основной несущей (anchor carriers), предназначенной для процессов в канале Physical Random Access Channel (PRACH). Эти вспомогательные несущие позволяют значительно увеличить ресурсный блок (Physical Resource

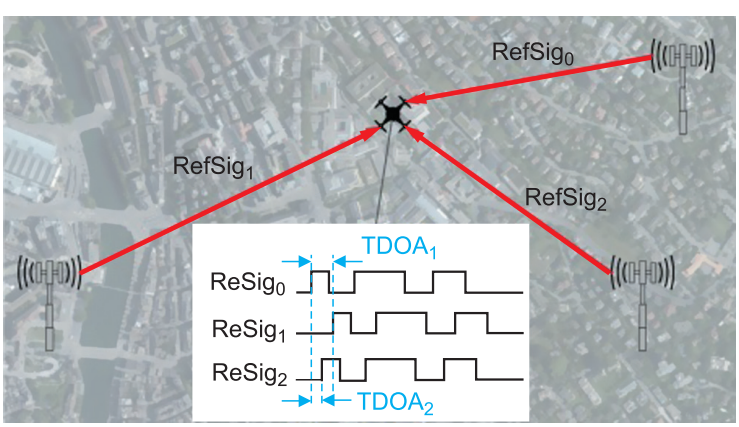

Рис. 8. Схема работы NB2 в режиме позиционирования в сетях NB-IoT Rel. 14 [22]

Blocks) и обслуживать до 1 млн мобильных устройств на площади в 1 кв. км.

Мобильность в рабочем режиме устройству UE Cat NB2 в стандарте Rel. 14 предоставляется за счет повторного соединения в этой соте с использованием протокола RRC (LTE Radio Resource Control).

Мобильность NB2 в рабочем режиме

Одним из недостатков первоначального стандарта NB-IoT Rel. 13 была невозможность полноценной работы с движущимися объектами, обусловленная ошибками передачи данных, вплоть до полной потери связи. Устройство NB1 может начать процедуру переподключения в случае проблем со связью, только когда находится в режиме ожидания (idle mode).

Для реализации функции мобильности в Rel. 14 для протокола LTE Radio Resource Control (RRC) вводятся две новые процедуры сигнализации. Первая из них характеризует процесс переустановления соединения и носит название Connection Re-establishment. Вторая процедура, связанная с интерфейсом S1 между MME (Mobility Management Entity) и мобильным устройством UE (рис. 5), называется S1 eNodeB Control Plane Relocation Indication procedures. Блок MME сохраняет контекст состояния UE в моменты потери связи. Новые процедуры позволяют восстанавливать соединение мобильного устройства UE в момент прерывания связи при перемещении из зоны действия одной базовой станции в зону действия другой. При этом параметры, сохраненные в MME, дают возможность взаимной аутентификации мобильного устройства и базовой станции.

В случае успешной аутентификации устройства управляющий блок MME даст команду старой eNodeB возвратить недоставленные пакеты в MME. После этого он может освободить старое соединение на S1-интерфейсе между устройством и старым eNodeB.

Необходимо почеркнуть, что опция мобильности в Rel. 14 не позволяет в полной мере реализовать handover с непрерывной передачей данных для перемещающегося между базовыми станциями устройства UE NB-IoT. Однако свойство мобильности дает возможность быстрее восстановить потерянное соединение и повысить надежность сетей NB-IoT в условиях нестабильной радиосвязи при наличии частых помех.

Особенности стандартов 3GPPP Release 15, 16, 17

Уместно отметить, что работы по стандартизации сетей 5G для IoT были продолжены в рабочих группах Rel. 15/16 (рис. 1). Разработка стандартов 5G в группе 3GPPP Rel. 17 началась в 2017 году. Дополнительную информацию можно найти в публикациях [24, 25].

Основные технические характеристики устройств Cat M1, NB1 (Rel. 13) и Cat NB2 (Rel. 14), которые поддерживаются в новых модулях EXS82/62 и TX82/62, приведены в таблице 1.

При сравнении характеристик двух технологий (табл. 1) можно отметить следующие преимущества каждой из технологий. Технология NB-IoT поддерживает только скорости передачи данных ниже 240 кбит/с, тогда как eMTC может достигать 1 Мбит/с. Также устройства Cat NB2 проигрывают Cat M1/M2 в плане мобильности. С точки зрения функциональности голоса NB-IoT не поддерживает передачу голоса, в то время как eMTC поддерживает. С другой стороны, развертывание сети LPWAN и переоборудование базовой LTE требуют меньше затрат для технологии NB-IoT по сравнению с eMTC. Кроме того, покрытие у NB-IoT больше, чем у eMTC.

Таблица 1. Сранительные характеристики устройств Cat M1 eMTC и Cat NB1, NB2 NB-IoT

Наименование	Cat M1, eMTC Rel. 13	Cat NB1, NB-IoT Rel. 13	Cat NB2, NB-IoT Rel .13
Частотный диапазон	Основные рабочие частоты LTE	Основная и защитная частоты LTE: 890–915 МГц и 935–960 МГц	
Ширина полосы частот UE	1,08 МГц (1,4 МГц полоса пропускания)	180 кГц (200 кГц полоса пропускания)	
Схема кодирования DL	OFDMA	OFDMA	
Схема кодирования UL	SC-FDMA, 16 QAM	SC-FDMA	
Уровень покрытия (MCL TR 36,888/45,820)*	155,7 дБ	164 дБ для выделенной полосы	155 дБ
Скорость передачи данных	DL/UL: 1 Мбит/с	DL — 26 кбит/с UL — 66 кбит/с	DL — 120 кбит UL — 160 кбит/с
Дуплексная передача	FD и HD (type B), FDD и TDD	HD (type B), FDD	Достаточно только FDD
Энергосберегающий режим	PSM, eDRX, C-DRX		
Категория мобильного устройства	Cat. M1	Cat. NB1	Cat. NB2
Класс мощности	23 дБм, 20 дБм	23 дБм, 20 дБм	14 дБм
Голос	VoLTE	Нет	Нет
Мобильность в рабочем режиме	Да	Нет	Ограниченная
Необходимость IP для доставки данных	Да	Нет (NIDD)	Нет (NIDD)

Примечание. *MCL (maximum coupling loss) — величина, используемая в стандартах 3GPPP для оценки покрытия, определяющая максимально возможное ослабление радиосигнала между передатчиком и приемником, которое система может поддерживать при заданном качестве передачи информации [26].

В документах Rel. 15 однозначно определены перспективы развития сетей LPWAN. В частности, в Rel. 15 отмечено, что в будущем системы с шириной полосы ниже 1,4 МГц не будут использоваться в сетях eMTC, а системы с шириной полосы более 200 кГц не будут использоваться в сетях NB-IoT.

Таким образом, намечается вполне определенное разграничение двух классов устройств LPWAN лицензируемого диапазона LTE на широкополосные и узкополосные. В свою очередь, такая градация определяет и области использования технологий NB-IoT и eMTC. Оба стандарта, eMTC и NB-IoT, имеют определенные технические преимущества и могут быть использованы каждый для своих приоритетных приложений, в зависимости от скорости передачи, объема и частоты передаваемых данных. Кроме того, выбор между этими технологиями определяется стоимостью мобильных устройств, ценой модернизации оборудования базовой станции и ПО, а также наличием готовых к эксплуатации сетей LPWAN. Поэтому можно говорить о том, что NB-IoT предпочтительна в тех приложениях, где основными требованиями являются более низкие затраты, более широкий охват, более длительное время автономной работы, отсутствие требований мобильности и голосовых сообщений.

Технология eMTC предпочтительна для приложений, в которых используются голосовые вызовы, высокие скорости передачи и мобильные устройства.

В настоящее время благодаря низкой стоимости и более широкому охвату сети NB-IoT развиваются значительно быстрее, чем сети eMTC. Однако сети eMTC поддерживают более широкий спектр приложений пользователя. Поэтому сетевые ресурсы eMTC имеют более высокие значения ARPU (средний доход в расчете на одного абонента). Следует обратить внимание на то, что не исключаются варианты совместной работы обеих технологий в гибридных сетях [27].

По всей видимости, в России будут развиваться как сети NB-IoT, так и сети eMTC. Об этом говорится в документе, который недавно опубликовало Минкомсвязи [28].

Модули Cinterion EXS82/62 и TX82/62 с поддержкой eMTC и NB-IoT

В настоящее время доступны модули Cinterion EXS62-W и EXS82-W с поддержкой eMTC и NB-IoT. Эти модули различаются лишь тем, что EXS82-W дополнительно поддерживает работу в сетях GSM (2G), а EXS62-W может работать только в сетях LPWAN.

В 2020 году Gemalto планирует выпустить в продажу серию TXx2. Модули данной серии TX82, TX62, изготовленные в LGA-конструктиве с габаритными размерами 17×17 мм, представляют собой миниатюрные аналоги моделей EXS82 и EXS62 соответственно.

Внешний вид модуля EXS82 показан на рис. 9.

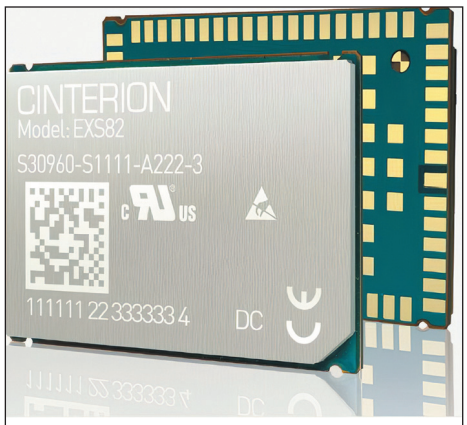

Рис. 9. Внешний вид модуля EXS82 [29]

В 2020 году ожидается массовый выпуск миниатюрных модулей TX82/62.

Устройства EXS82/62 и TX82/62 изготовлены на базе нового чипа Qualcomm 9205 [30].

Чип, разработанный на основе ЦПУ ARM Cortex A7, поддерживает стандарты 3GPPP Rel. 13 Cat M1 (eMTC) и Cat NB-1 (NB-IoT), а также стандарты 3GPPP Rel. 14 Cat NB-2 (NB-IoT). В сетях LPWAN возможно функционирование как в режиме HD-FDD, так и в TDD-режиме. Кроме того, чип поддерживает работу и в сетях E-GPRS. Новый чип содержит на одном кристалле baseband (BB) процессор, приемопередатчик с интегрированным усилителем мощности.

Чип Qualcomm MDM 9205 в режиме ожидания потребляет примерно на 70% меньше по сравнению с его предшественником MDM 9206, что позволет устройству UE IoT работать без замены батареи более 10 лет. Кроме того, габариты MDM 9205 на 50% меньше, чем у MDM 9206. Такие свойства идеальны для приложений IoT, в которых требуются маломощные миниатюрные устройства с батарейным питанием, предназначенные для сетей LPWAN.

Поддержка устройств Cat M1 (eMTC), NB-1, NB-2 (NB-IoT), а также малое время задержки и расширенные зоны покрытия выводят чип Qualcomm MDM 9205 на лидирующие в настоящий момент позиции в мире для данного класса устройств.

В тех областях, где нет LTE-связи, поддержка работы в режиме 2G/E-GPRS позволяет развертывать автоматизированное обслуживание устройств M2M на базе чипа MDM 9205 с перспективой перехода на LTE-M IoT.

Новый чип также программно совместим с предыдущими решениями Qualcomm LTE IoT, что позволяет производителям модулей использовать базовое ПО старых моделей для новых разработок.

Модули серии EXS82/62 вобрали все преимущества чипа MDM9205. Они могут работать в 19 частотных диапазонах FDD LTE (3GPP Rel. 13 Cat M1, Rel. 14 Cat NB1, Cat NB2). Поскольку эти модели перекрывают практически все частотные диапазоны LTE Duplex Mode FDD, действующие в различных регионах, они могут быть использованы во многих странах мира. Также модуль EXS82 поддерживает режим Quad-Band GSM: 850, 900, 1800 1900 МГц.

Отметим, что модули EXS82/62 и TX82/62 имеют встроенный приемник GNSS, который может функционировать со всеми основными системами спутниковой навигации: GPS, GLONASS, Beidou, Galileo.

Основные отличия модулей EXS82/62 и TX82/62:

- возможность работы в сетях: NB-IoT + eMTC + 2G (только EXS82 и TX82);
- встроенный приемник GNSS;
- встроенная SIM-карта;
- усовершенствованная система управления питанием;
- наименьшее энергопотребление в классе устройств Cat M1 и Cat NB2;
- встроенный IP-стек;
- удаленное инкрементальное обновление ПО модуля (DFOTA) по протоколу LwM2M;
- встроенный модуль обработки информации;
- инновационный метод обеспечения безопасности передачи данных;
- безопасная регистрация во внешних сервисных сетях;
- универсальный форм-фактор (LGA).

Модули EXS82/62 управляются с помощью стандартных AT-команд в соответствии с Hayes 3GPP TS 27.007, TS 27.005, команд для сетей LPWAN, рекомендованных 3GPP Rel. 13, а также специальных команд Gemalto M2M AT commands for RIL compatibility.

Структурная схема модуля EXS82 показана на рис. 10.

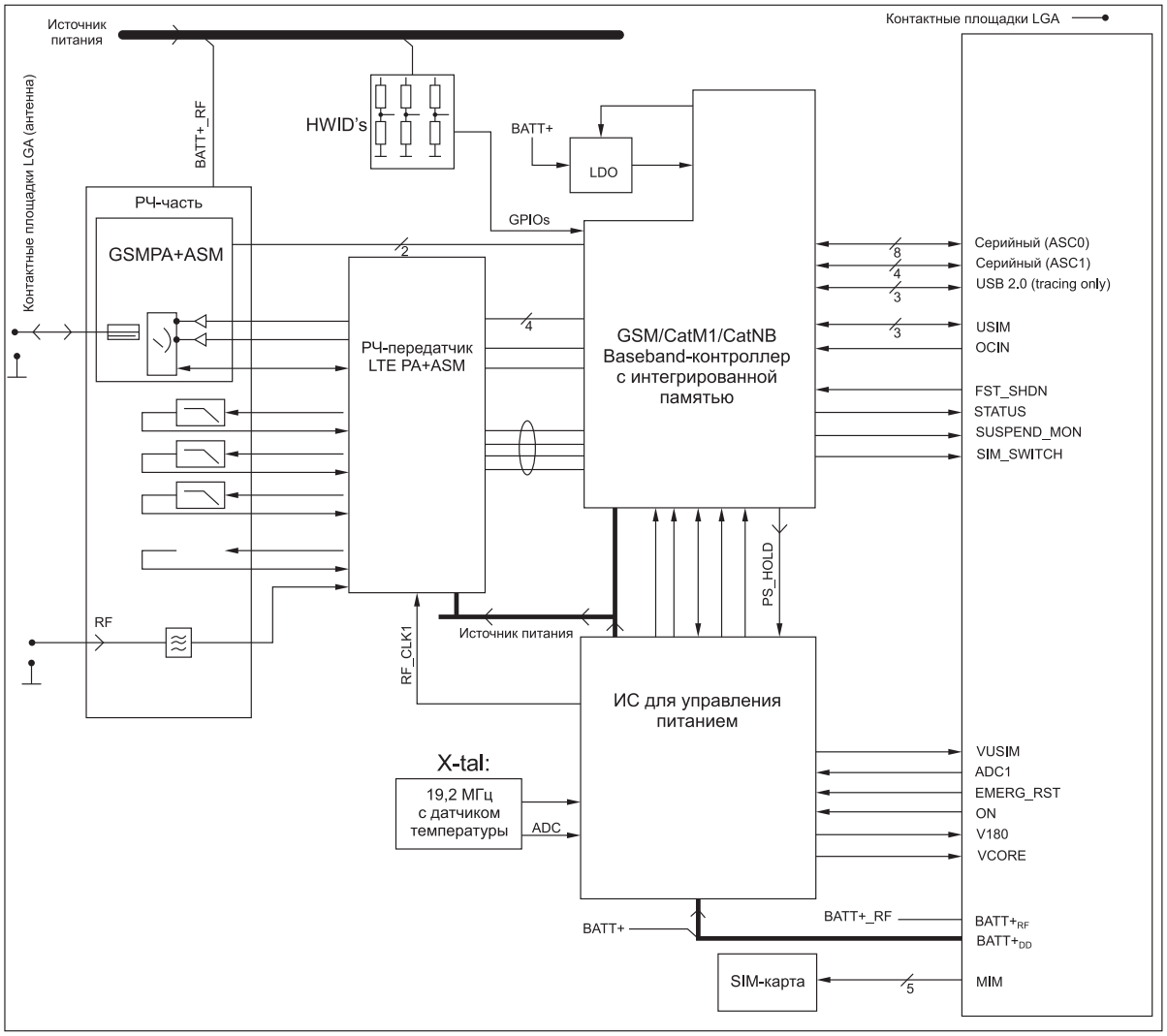

Рис. 10. Структурная схема модуля EXS82

Модули EXS82/62 выполнены в стандартном для изделий Cinterion конструктиве LGA с габаритными размерами корпуса 27,6×18,8×2,3 мм (рис. 11).

Стандартный конструктив позволяет переходить от изделий на базе старых модулей 2G/3G/LTE к новым моделям с поддержкой сетей LPWAN.

На контактные площадки модуля EXS82 выведены все интерфейсные группы модуля: антенна LTE, антенна GNSS, ASC1, ASC0, USB, UICC/U/SIM, IO. Из всех контактных площадок 34 зарезервировано для специальных целей и будущих моделей. Так, в случае необходимости возможности базового чипа позволяют с помощью пользовательских вводов/выводов реализовать сигнальные линии ADC, SPI, I²C и PWM.

Следует обратить внимание на то, что модуль устойчив к колебаниям напряжения питания в диапазоне 2,6–4,8 В, что позволяет эксплуатировать его в течение нескольких лет при постепенной потере заряда батареи. Расширенный температурный диапазон обеспечивает надежную работу модуля в пределах –40…+90 °С. Ультранизкое энергопотребление, позволяющее модулю функционировать автономно без смены батареи в течение 10 лет, поддерживается режимами Extended Discontinuous Reception (eDRX) и Power Saving Mode (PSM). Эти технологии дают возможность снизить периодичность обязательных сигнальных со-

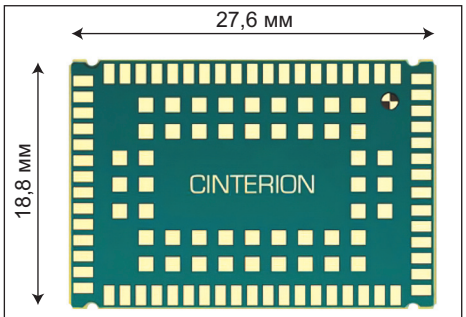

Рис. 11. Модули EXS82 выполнены в стандартном для изделий Cinterion конструктиве LGA

Таблица 2. Технические характеристики модулей EXS82/62

Диапазон частот GSM (EXS82-W)	850/900/1800/1900 МГц
Диапазон частот LTE Cat M1	700 (Bd12, Bd13, Bd14, Bd28, Bd85), 800 (Bd18, Bd19, Bd20, Bd26, Bd27), 850 (Bd5), 900 (Bd8), 1700 (Bd66), AWS (Bd4), 1800 (Bd3), 1900 (Bd2, Bd25), 2100 (Bd1)
Диапазон частот LTE Cat NB1/NB2	600 (Bd71), 700 (Bd12, Bd13, Bd28, Bd85), 800 (Bd18, Bd19, Bd20, Bd26), 850 (Bd5), 900 (Bd8), 1700 (Bd66), AWS (Bd4), 1800 (Bd3), 1900 (Bd2,Bd25), 2100 (Bd1)
Класс GSM	Small MS
Выходная мощность в сетях GSM (3GPPP Release 7)	GSM/GPRS (EXS82-W only): Class 4 (+33 дБм ±2 дБ) для GSM850 и GSM900 Class 1 (+30 дБм ±2 дБ) для GSM1800 и GSM1900; Class E2 (+27 дБм ± 3 дБ) для GSM850 8-PSK и GSM 900 8-PSK; Class E2 (+26 дБм +3/–4 дБ) для GSM 1800 8-PSK и GSM1900 8-PSK
Выходная мощность в сетях LPWAN (3GPP Release 13)	LTE Cat. M1: Class 5 (+20 дБм ±2дБ) для всех частот LTE Cat. M1, LTE Cat NB1/NB2: Class 5 (+20 дБм ±2 дБ) для всех частот LTE Cat. NB1/NB2
Напряжение питания, EXS82-W, нормальный режим работы	LTE и GSM: 3,3–4,6 В LTE с выключенным GSM: 2,8–4,6 В
Напряжение питания, EXS62-W, нормальный режим работы	LTE: 2,8–4,6 В
Напряжение питания, EXS82-W, расширенный режим работы	LTE с выключенным GSM: 2,6–4,6 В
Напряжение питания, EXS62-W, расширенный режим работы	LTE: 2,6–4,6 В
Интервал рабочих температур	Нормальный режим: –30...+85 °С Расширенный режим: –40...+90°С
Габаритные размеры и вес	27,6×8,8×2,3 мм Вес 2,5 г
RoHS	В соответствии с EU RoHS Directive
Скорости передачи данных в сетях LPWAN	3GPP Release 13 LTE Cat M1 (HD-FDD) DL: макс. 300 кбит/с, UL: макс. 1,1 Мбит/с LTE NB1 (HD-FDD) DL: макс. 27 кбит/с, UL: макс. 63 кбит/с 3GPP Release 14 LTE NB2 (HD-FDD) DL: макс. 124 кбит/с, UL: макс. 158 кбит/с
GSM/GPRS/EGPRS	GPRS (EXS82-W): Multislot Class 10, Full PBCCH, support, Mobile Station Class B, Coding Scheme 1 – 4, EGPRS (EXS82-W): Multislot Class 10, EDGE E2 power class для 8 PSK
SMS	«Точка- точка», MT и MO Текст и PDU mode, Хранение: SIM card + UE SMS locations
Встроенный приемник GNSS	Протокол NMEA, энергосберегающий режим, активная антенна, GNSS: GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo
Программное обеспечение	AT-команды в соответствии с Hayes 3GPP TS 27.007, TS 27.005, Gemalto M2M AT commands for RIL compatibility
Запись ПО пользователя на USIM-карте	SIM Application Toolkit (SAT) Release 99, BIP
Обновление ПО	Через интерфейсы ASC0 и ASC1
Конструктив	LGA, контактные площадки
USB (только для отладочных целей)	USB 2.0 High Speed (480 Мбит/с), Full Speed (12 Мбит/с)
Последовательный интерфейс ASC0	• 8-проводной асинхронный, несбалансированный модемный интерфейс • Скорости передачи: 300–921,6 бит/с • Линии RTS0/CTS0 аппаратного контроля
Последовательный интерфейс ASC1	• 4-проводной асинхронный, несбалансированный модемный интерфейс • Скорости передачи: 300–921,6 бит/с • Линии RTS0/CTS0 аппаратного контроля
Интерфейс UICC	Поддержка двух SIM/USIM-карт 1,8 В. Возможность подключения внешних SIM/USIM-карт
Интерфейс eSIM	Возможность подключения внешней карты eSIM. Опционно — встроенная eSIM
Контрольные индикаторы	LED, контроль режимов работы
Аварийное выключение	Сигнал прерывания аварийного выключения
Переключение SIM-карт	Сигнал переключения между двумя SIM-картами
Антенный интерфейс	50 Ом, GSM/LTE-антенна, GNSS-антенна
Включение/выключение	Аппаратные сигналы ON/ FST_SHDN, Выключение через AT-команды
Перезагрузка	Аппаратное и программное управление
Аварийное выключение	Аппаратный сигнал EMERG_RST
Интернет-протоколы	Встроенный (IPv4 и IPv6 TCP/IP). Доступ с помощью AT-команд. TCP/UDP-сервис
Интернет-сервисы	TCP server/client, UDP client, DNS, Ping, HTTP client, FTP client, MQTT client, LwM2M
Безопасность	Безопасное подключение через TLS/DTLS
Драйверы	Windows 7/Windows 8/Windows 10, Linux, Android
Сертификаты	RED, CE, FCC, ISED, UL, EuP, RoHS, REACH GCF, PTCRB
Адресная книга	SIM & phone

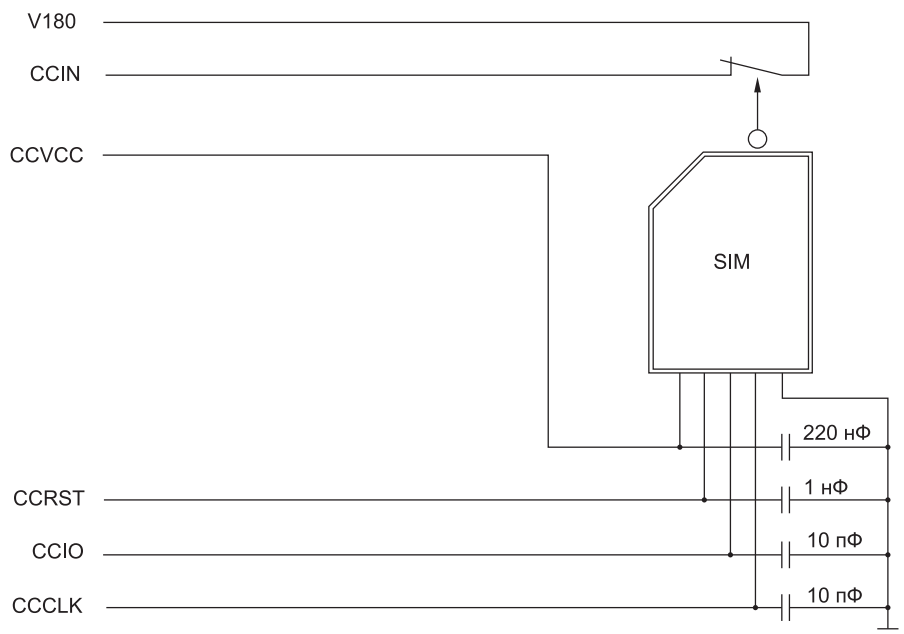

Рис. 12. Рекомендуемая схема подключения внешней SIM-карты к модулю EXS82

общений, оптимизировать интервалы приема и получения информации, организовать поддержку длительных периодов молчания, в течение которых устройство остается подключенным к сети, не передавая и не получая информацию. В режиме PSM ток потребления модуля EXS82 составляет всего 4,5 мкА.

Модули EXSx2-W могут быть переведены в режим PSM с помощью команды AT^SCFG=»Radio/OutputPowerReduction».

Модуль EXS82 может работать в режиме энергосбережения при подключении как к сетям GSM, так и LPWAN. Возможности энергосбережения при подключении к сети GSM зависят от цикла синхронизации поискового вызова базовой станции. Продолжительность интервала энергосбережения зависит от длительности кадра TDMA и величины DRX (Discontinuous Reception), принимающей значения 2–9. Конкретное значение DRX базовой станции задается оператором сети GSM. В паузах между прослушиванием пейджинговых сообщений модуль переходит в режим энергосбережения.

В сетях LPWAN модули EXS82/62 работают в режимах энергосбережения в полном соответствии с Rel. 13/14, как это было описано выше.

Технические характеристики модулей EXS82/62 приведены в таблице 2.

Основной 8-проводной несимметричный, асинхронный, модемный последовательный интерфейс (Asynchronous Serial Interface ASC0) выполнен в соответствии со стандартом ITU-T V.24, protocol DCE signalling. Этот интерфейс предназначен для связи модуля с внешними периферийными устройствами. На контактные площадки LGA выведены четыре сигнальные линии интерфейса: линии данных RXD0 и TXD0, статусные линии RTS0 и CTS0, (пл. 11, 12, 13, 15). Логический уровень этих линий совместим со стандартом 3,3 В. Еще четыре сигнала контрольных модемных линий ASC0 имеют названия DTR0, DSR0, DCD0, RING0. Скорость передачи данных по ASC0 задается с помощью AT-команд в диапазоне 300–921,6 бит/с. Сигнальные линии аппаратного контроля потока (RTS0/CTS0) могут быть задействованы для вывода модуля из спящего режима. Линия RING0 используется для индикации системных сообщений (Unsolicited Result Codes — URC). Кроме того, эта линия может быть использована для вывода модуля из режима максимальной экономии энергопотребления. Стандартная конфигурация по умолчанию включает: 8 data bits, no parity, 1 stop bit.

Второй дополнительный последовательный интерфейс ASC1 предназначен для отладочных целей и приложений, в которых нужно использовать одновременный доступ по двум последовательным портам. Например, можно организовать запрос статуса во время передачи данных по основному интерфейсу ASC0. Интерфейс ASC1 с ограниченной функциональностью выполнен в соответствии со стандартом TU-T V.24 protocol DCE signaling. Он имеет две линии данных — TXD1, RXD1 — и две линии контроля потока — RTS1, CTS1. Интерфейс ASC1 управляется теми же AT-командами, что и ASC0, и может работать с аналогичными скоростями.

В модулях EXS82/62 есть интерфейс USB, который поддерживает спецификацию USB 2.0 High Speed (480 Мбит/с) и спецификацию USB 2.0 Full Rate(12 Мбит/с). Интерфейс USB предназначен, прежде всего, для отладочных целей и для обновления программного обеспечения модуля.

Модули EXS82/62 имеют встроенный интерфейс UICC/SIM/USIM, соответствующий стандарту 3GPP 31.102 и ETSI 102 221 и предназначенный для работы с внешней SIM-картой (1,8/3 В), а также обеспечивающий удаленное управление модулем с помощью протоколов UICC-terminal interface. Сигнальные линии интерфейса выведены на отдельные контактные площадки LGA под названиями CCCLK, CCVCC, CCIO, CCRST. На рис. 12 показана рекомендуемая схема подключения внешней SIM-карты к модулю EXS82.

В качестве внешней SIM-карты может быть использована электронная SIM-карта (Embedded SIM — eSIM), которая позволяет подключать устройства к сети без физической SIM-карты как таковой. При этом выбор оператора и условий эксплуатации реализуется в режиме настройки устройства. Электронная карта eSIM аутентифицирует устройства IoT, шифрует данные и управляет безопасным подключением к сотовым сетям. Следует отметить, что это не первый пробный эксперимент Gemalto с eSIM. Ранее в модуле EMS31 была опробована eSIM, поддерживаемая крупнейшим в мире транснациональным телекоммуникационным конгломератом AT&T Inc. [31].

По запросу производитель может поставлять модули EXS82/62 со встроенной eSIM, которая дает возможность пользователю в полной мере применить все преимущества сетей LPWAN без необходимости покупать и устанавливать обычные SIM-карты.

Миниатюрная eSIM-карта примерно в два раза меньше традиционных SIM-карт. Она оптимальна для носимых устройств с батарейным

Рис. 13. Синяя карта eSIM AT&T [32]

питанием. Благодаря меньшему количеству компонентов новые модули со встроенной картой eSIM IoT позволяют экономить средства и время разработки новых изделий.

Кроме того, встроенная eSIM повышает степень безопасности работы в сетях LPWAN.

Для активации eSIM, как правило, достаточно приобрести онлайн так называемую синюю карту (blue card) с QR-кодом и зарегистрироваться на сайте оператора (рис. 13).

Следует обратить внимание на еще одну очень полезную функцию модулей EXS82/62 — SIM Application Toolkit (SAT), которая позволяет записывать небольшие приложения пользователя непосредственно на USIM-карте и отрабатывать их в модуле, минуя внешний управляющий процессор. Основная функция SAT заключается в том, чтобы позволить модулю посылать AT-команды через USIM-интерфейс. При этом сами приложения выполняются внутри USIM-карты, вне зависимости от того, как именно они были подготовлены. Использование технологии SAT позволяет создавать приложения с минимальными системными требованиями, которые могут быть запущены на модулях, работающих с минимальными функциональными возможностями в режимах энергосбережения. В качестве примера таких приложений можно привести различного рода проактивные команды, а также комбинированные команды для выхода в специальные подразделы.

Для работы в режиме USAT существуют специальные AT -команды, например: ^SSTA, +STKPRO, +STKTR, +STKENV, +STKCC, +STKCNF и другие.

Модули EXS82/62 поддерживают функцию Bearer Independent Protocol — BIP, с помощью которой USIM-карта получает доступ к сетям мобильной связи. Протокол BIP обеспечивает высокоскоростной прямой доступ карты USIM к TCP/IP-стеку модуля. Это помогает реализовать такие функции, как On-Demand Provision Service — OPS, Remote Application Management — RAPM и embedded UICC — eUICC. Отдельный функционал SIM/MIM-карты eUICC предназначен для поддержки сервисов Remote provisioning. Удаленное управление RAPM позволяет загружать через сети мобильной связи в автоматическом режиме приложения, предназначенные для работы с картами USIM. Также поддержка протокола BIP позволяет реализовать удаленное обновление и управление профилями в eSIM через OTA-платформу.

Модуль EXS82 оснащен встроенным блоком сервисных функций, который поддерживает ряд базовых интернет-сервисов и оптимизирует работу с приложениями пользователя. Современная инновационная система безопасности обеспечивает надежную регистрацию и связь в экосистеме IoT.

Среди сетевых протоколов и интернет-сервисов, которые поддерживаются модулями EXSx2, можно отметить следующие: встроенный TCP/IP (IPv4 и IPv6), TCP/UDP-сервисы, TCP server/client, UDP client, DNS, Ping, HTTP client, FTP client, MQTT client, безопасное подключение через TLS/DTLS, LwM2M. Несколько слов следует сказать о протоколе Lightweight M2M (LwM2M), предназначенном специально для управления сервисными службами IoT. Протокол LwM2M на базе стандартов 3GPP разработан и продвигается альянсом Open Mobile Alliance [33]. Это универсальное стандартное решение, которое может быть использовано в сетях, где необходимо назначать IP, а также в сетях, не требующих IP (Non-IP Data Delivery — NIDD), в том числе NID NB-IoT. Сетевая архитектура LwM2M построена по принципу клиент-сервер, который включает серверы LwM2M Server, LwM2M Bootstrap-Server, LwM2M Client. Таким образом, протокол LwM2M используется для управления начальной загрузкой, конфигурацией, аварийными отказами и обновлениями программного обеспечения.

Для модулей серии EXS82/62 существует уникальная система обновления программного обеспечения по сети (DFOTA).

При этом изменения в ПО происходят только для части кода, нуждающейся в обновлении. Тем самым сокращается время обновления и увеличивается пропускная способность сети.

Процесс DFOTA имеет такие последовательные этапы:

- переключение модуля в режим обновления программного обеспечения;
- загрузка нового базового программного обеспечения в файловую флэш-систему модуля (FFS);
- проверка контрольных сумм загруженного ПО;
- запуск нового ПО;
- переключение модуля в нормальный режим работы.

Для разработки изделий на базе новых модулей предназначен отладочный комплект LGA DevKit, с помощью которого пользователи могут тестировать модули LGA Gemalto M2M. Дополнительную информацию можно найти на сайте [34].

Комплект LGA DevKit спроектирован как универсальный адаптер для разработки модулей LGA Cinterion. Основным преимуществом является то, что пользователь может экспериментировать непосредственно с новыми модулями LGA без применения пайки. Внешний вид комплекта разработчика LGA DevKit показан на рис. 14.

Для соединения модулей с комплектом разработчика предназначен универсальный держатель Cinterion LGA socket, позволяющий работать с большинством индустриальных модулей Gemalto (рис. 15). При этом не нужно иметь отдельный держатель или плату с напаянным модулем для каждой модели отдельно.

Также доступна традиционная оценочная плата с напаянным модулем Evaluation module EXSx2-W, которую можно подключить к испытательным платам DSB75 или DSBMini. Подробная информация об отладочных средствах Cinterion LGA представлена в документе [35]. ■

Литература

1. www.seekingalpha.com/article/4133698-thales-gemalto-create-world-leader-digital-security-slide-show
2. www.3gpp.org/images/PDF/R13_IOT_rev3.pdf
3. www.portal.3gpp.org/ngppapp/CreateTdoc.aspx?mode=view&contributionId=901950#
4. www.machinaresearch.com/news/global-m2m-market-to-grow-to-27-billion-devices-generating-usd16-trillion-revenue-in-2024/

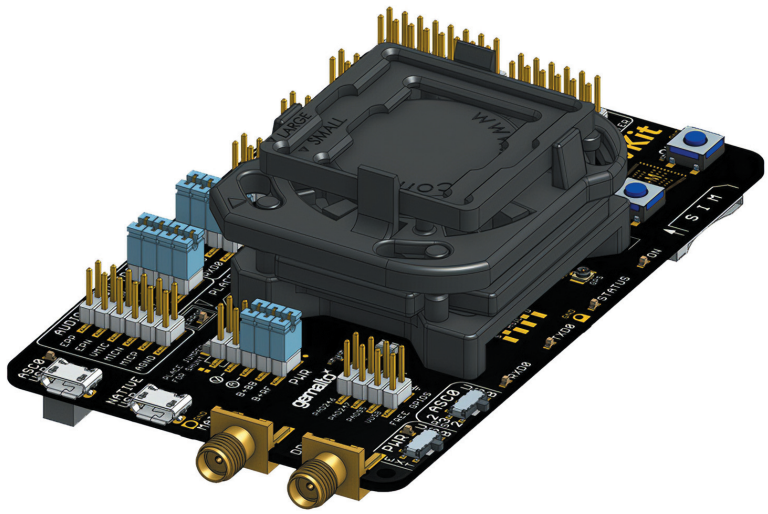

Рис. 14. Внешний вид комплекта разработчика LGA DevKit

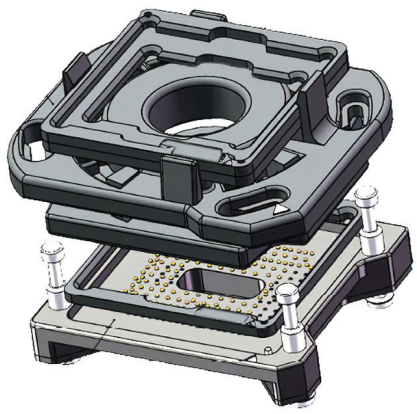

Рис. 15. Универсальный держатель Cinterion LGA socket

5. www.3gpp.org/common-api-framework-capif
6. www.3gpp.org/images/PDF/R13_IOT_rev3.pdf
7. www.telekomunikacije.org/images/prezentacije/Internet_stvari_v_mobilnih_omre%C5%BEjih.pdf
8. www.anisimoff.org/lte/channels.html
9. www.sharetechnote.com/html/Handbook_LTE_BL_CE_PDSCH_Subframe.html
10. www.researchgate.net/figure/eMTC-network-architecture_fig10_329192059
11. www.researchgate.net/figure/NB-IoT-Network-architecture-5_fig6_315505158
12. www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2018/04/NB-IoT_Deployment_Guide_v2_5Apr2018.pdf
13. www.docs.oracle.com/cd/E93177_01/docs.83/SCEF/GUID-52DD840C-BA16-428D-BA19-05BB1C2A679E.htm
14. www.habr.com/ru/company/ru_mts/blog/473982/
15. www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6603562/
16. www.3gpp.org/more/96-nas
17. www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31181778
18. www.arxiv.org/abs/1606.04171
19. www.researchgate.net/publication/321328850_Overview_of_3GPP_Release_14_Enhanced_NB-IoT
20. www.researchgate.net/publication/321328850_Overview_of_3GPP_Release_14_Enhanced_NB-IoT
21. www.haltian.com/connectivity-garage/iot-protocols-overview/nb-iot/nb-iot-3gpp-release-14/
22. www.iis-projects.ee.ethz.ch/index.php/Implementation_of_a_NB-IoT_Positioning_System
23. www.5g-xcast.eu/wp-content/uploads/2018/04/Paper_5G-Xcast_IEEEComStdsMagazine.pdf
24. www.3gpp.org/release-17
25. www.3gpp.org/ftp/Information/presentations/presentations_2019/2019_07_Brighttalk_Post-RAN84.pdf
26. www.techplayon.com/?s=MCL
27. www.dzone.com/articles/choosing-between-emtc-and-nb-iot
28. www.digital.gov.ru/uploaded/files/07102019tbs.pdf
29. www.gemalto.com/brochures-site/download-site/Documents/M2M_EXS62_EXS82_Datasheet.pdf
30. www.qualcomm.com/media/documents/files/qualcomm-9205-lte-modem-presentation.pdf
31. www.gemalto.com/press/pages/gemalto-helps-simplify-and-secure-iot-connectivity-to-the-att-network-with-all-in-one-esim-and-iot-module.aspx
32. www.att.com/support/article/wireless/KM1081808/
33. www.omaspecworks.org/what-is-oma-specworks/iot/lightweight-m2m-lwm2m/
34. www.gemalto.com/m2m/development/cinterion-lga-devkit
35. www.gemalto.com/m2m-site/devkitlga/images/UG_LGA_DevKit_v01.pdf