

## ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ MULTEFIRE

В статье приведена краткая информация об особенностях и достоинствах новой технологии беспроводной связи LTE, предназначенной для повышения скорости передачи данных и увеличения радиуса обслуживания. Особенностью новой технологии MulteFire является работа в нелицензируемом диапазоне частот 5 ГГц. При одновременной работе устройств MulteFire и Wi-Fi 802.11ac обеспечивается увеличение скорости обмена данными для устройств обоих типов благодаря использованию схожих протоколов связи.



V. Макаренко, Д. Фалев

### TECHNOLOGY FEATURES HIGH-SPEED DATA TRANSFER MULTEFIRE

**Abstract** – The article provides brief information about the features and advantages of the new LTE wireless technology designed to increase the speed of data transmission and increase the service radius. A feature of the new technology is the work of MulteFire unlicensed frequency range of 5 GHz. With the simultaneous operation of Multefire and Wi-Fi 802.11 ac devices, the data rate for both types of devices is increased through the use of similar communication protocols.

V. Makarenko, D. Falev

Проблему обеспечения высокоскоростным доступом к Интернет в местах большого скопления людей пытаются решить различными способами. Один из них – это использование технологии Wi-Fi, предложенной в стандарте 802.11ax [1].

Другой – использование одной из технологий высокоскоростной связи LTE, получившей название MulteFire. В основе технологии заложена базовая идея использовать (зачастую простаивающий) диапазон 5 ГГц для нужд пользователей сетей LTE. Важным условием является то, что такие решения не должны мешать работе точек доступа Wi-Fi, если они работают в зоне действия LTE/MulteFire.

При использовании MulteFire абонентское устройство или устройство оператора может работать на частоте 5 ГГц без привязки к любому лицензированному диапазону частот, тем самым освобождая лицензированные ресурсы для других мобильных клиентов.

В январе 2017 года MulteFire-альянсом (основанным в 2015 году компаниями Nokia, Ericson, Qualcomm и Intel) была выпущена первая спецификация стандарта MulteFire (release 1.0.1), которая описывает принципы и особенности работы LTE вне лицензируемого диапазона частот. MulteFire – технология, которая базируется на стандарте LTE от исследовательской группы 3rd Generation Partnership Project (3GPP) релиз 13 (Licensed Assisted Access – LAA) и релиз 14 (enhanced Licensed Assisted Access – eLAA). Эти расширения LTE предусматривают объединение полос лицензируемого и нелицензируемого диапазона частот: LAA – по нисходя-

щей линии (от базовой станции к абонентскому устройству), eLAA – по восходящей линии (от абонентского устройства к базовой станции). Это дает возможность расширения используемого частотного диапазона и, следовательно, повышения пропускной способности сети [2]. Однако в LAA и eLAA для передачи сигнального трафика используется лицензированный диапазон, а в нелицензируемом диапазоне частот можно осуществлять только передачу данных. В то время, как в технологии MulteFire вся информация передается в диапазоне 5 ГГц (для США возможна работа в диапазоне 3.5 ГГц) [3].

Важной особенностью этой технологии является возможность взаимодействовать точкам доступа MulteFire с сетями LTE, организовывая таким образом хэндоверы (процесс передачи обслуживания абонента во время вызова или сессии передачи данных от одной базовой станции к другой) между сетью мобильных операторов и сетями MulteFire. Это позволит осуществлять мягкие переходы между публичными или домашними точками доступа и мобильными сетями [4].

Для гармоничного сосуществования с Wi-Fi, в MulteFire аналогично LAA/eLAA применяется технология динамического выбора свободной частоты. В случае, когда свободных для передачи каналов нет, передатчик выбирает наименее загруженный канал, прослушивает его на протяжении определенного времени и, в случае отсутствия в нем передачи, начинает передачу сам. Данный алгоритм носит название Listen Before Talk (LBT), что дословно переводится как “Слушай, прежде чем говорить” и по вы-

полняемым функциям аналогичен алгоритму распределенного доступа к каналу (DFC), который используется в Wi-Fi. Такая функция позволяет предотвратить одну из главных сложностей совместного использования спектра – конфликт между сетями (коллизии) и снижение их производительности. Специалисты Qualcomm доказали, что LTE и Wi-Fi могут совместно эффективно функционировать в нелицензированном диапазоне 5 ГГц.

На сегодняшний день LTE допускает использование не более трех каналов с полосой пропускания 20 МГц, размещенных в диапазоне 5 ГГц. Тем не менее, этого достаточно, чтобы увеличить пропускную способность в нисходящем канале до уровня сопоставимого с Wi-Fi. Но в отличие от Wi-Fi, технология LTE обеспечивает более высокую энергоэффективность, что позволяет либо обслужить большее число абонентов, либо обеспечить большую зону покрытия. Бесспорным плюсом технологии также является то, что она обеспечивает более надежную защиту персональных данных от несанкционированного доступа, чем при использовании Wi-Fi.

Базовые станции (БС или часто используемое обозначение eNodeB) LTE, в т.ч. LTE, могут работать в одном из двух режимов:

1. Режим обмена данными между БС и абонентским устройством АУ (User Equipment – UE). Во время обмена данными с АУ, БС создает физический канал передачи пользовательских данных с разделением клиентов (Physical Downlink Shared Channel – PDSCH).

2. Режим работы БС в энергосберегающем режиме (Off State), когда она не взаимодействует ни с одним абонентским устройством и передает лишь сигналы распознавания – сигналы синхронизации и опорные сигналы конфигурации канала. Второй режим также называют работой БС в режиме передачи DRS (Discovery Reference Signal).

В случае передачи PDSCH спецификация 3GPP

идентифицирует четыре разных приоритета классов доступа, которые определяют время передачи в канале, в зависимости от приоритетности. С целью достижения гармоничного сосуществования с Wi-Fi эти классы доступа очень похожи на используемые в стандартах IEEE 802.11.

Рассмотрим подробнее процедуру доступа к каналу для передачи. БС (eNodeB) готова к передаче и начинает прослушивать канал в течении периода  $T_d$ , так называемого времени отсрочки для передачи. Если на протяжении этого времени в канале не зафиксирована передача данных, то передатчик выбирает случайное число  $N$ , которое варьируется от 0 до значения конкурентного окна (Contention Window – CW, временные слоты, которые формируют задержку передачи [5]), используемое для определения количества тайм-слотов, в течение которых станция выжидает перед началом передачи.

Передатчик начинает обратный отсчет количества слотов от значения  $N+1$  до нуля и после отсчета всех этих временных промежутков отправляет кадр в канал. Значение CW выбирается в зависимости от приоритетности класса доступа. Чем выше приоритет, тем больше максимальное значение конкурентного окна (обусловлено тем, что для более высокого приоритета требуется больше времени для передачи, соответственно для исключения коллизий требуется большее время задержки перед передачей, чтобы передатчик был уверен, что канал свободен). Если на протяжении, как минимум, 4 мкс для любой продолжительности слота  $T_{sl}$  уровень сигналов или шумов в канале превышает граничный уровень, то канал считается занятым для передачи и БС еще раз прослушивает канал в течение времени  $T_d$ . На рис. 1 показано графическое представление этого алгоритма.

Промежуток отсрочки  $T_d$  состоит из  $m$  значений временных слотов  $T_{sl}$  (9 мкс) и интервала  $T_f$  длительностью 16 мкс, включающей в начале пустой промежуток слота длительностью  $T_{sl}$  (7 мкс). В за-

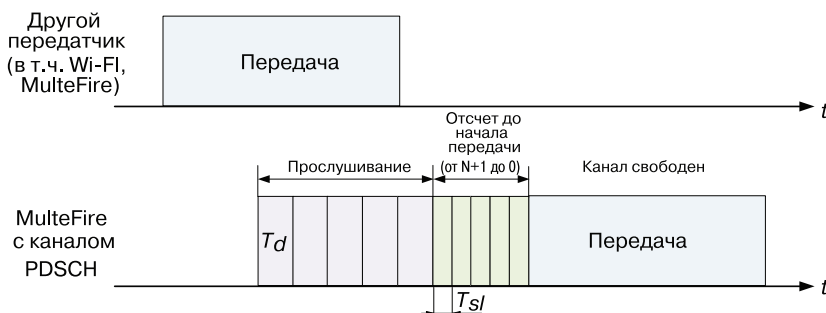


Рис. 1. Алгоритм LBT при передаче PDSCH

висимости от класса доступа к каналу значение  $mp$  варьируется от 1 до 7 [6]. Таким образом обеспечивается доступ к каналу не больше чем за 80 мкс.

Если БС не взаимодействует с абонентскими устройствами, она переходит в режим Off State. Для того, чтобы абонентские устройства могли распознавать БС, она излучает опорные сигналы DRS. Они могут передаваться лишь во время формирования периодического временного окна длительностью 6 мс с периодом повторения 40, 80 или 160 мс, которое имеет название DRS Measurement and Timing Configuration (DMTC). Абонентское устройство проверяет наличие сигналов DRS в указанных промежутках времени [7].

Так как время, отведенное на передачу, ограничено, то алгоритм LBT тоже упрощен. БС прослушивает канал на протяжении 25 мкс. Если на протяжении этого времени БС не зафиксировала уровень сигнала выше гранично-допустимого, то канал считается свободным и осуществляется передача DRS.

Для восходящей линии используются аналогичные режимы, но в роли передатчика выступает абонентское устройство [8].

Кадр в стандарте LTE состоит из подкадров, которые, в свою очередь, содержат два слота. Каждый подкадр предназначен для передачи информации по нисходящей (Downlink) или восходящей (Uplink) линии.

Для работы устройств в стандарте LTE с частотным и временным разделением каналов используются неодинаковые структуры кадра – первого и второго типа, соответственно. В 14 релизе специ-

фикации 3GPP для работы в нелицензированном спектре (для LAA, MulteFire) определена структура кадра третьего типа, которая схожа со структурой кадра с частотным разделением каналов. Кадр длительностью 10 мс состоит из 20 слотов продолжительностью по 0,5 мс [9].

В кадре 1-го типа используется равное количество подкадров (5 подкадров по 10 слотов), разнесенных по частоте, для передачи по нисходящей и восходящей линии. Для работы с временным разделением каналов используется 7 определенных структур конфигураций кадра 2-го типа.

В структуре кадра 3-го типа (предназначен для MulteFire) используется динамический подбор конфигурации структуры кадра для включения в него различного количества подкадров Uplink и Downlink (рис. 2). Таким образом осуществляется адаптация к требуемому трафику, увеличивая его эффективность как при приеме, так и при передаче [7].

Гибкая структура кадра дает возможность более эффективно использовать доступный частотный ресурс. Если канал связи окажется свободным раньше, чем начнет формироваться стандартный подкадр передачи, то передатчик сразу начинает передачу (рис. 3). Следовательно, время ожидания во многих случаях может быть уменьшено.

В случае необходимости повторной передачи кадра, также нет надобности ждать начала следующего подкадра (передачи или приема) как по нисходящему, так и по восходящему каналу [7].

Первые тесты, проведенные компаниями-участниками альянса MulteFire, продемонстрировали эффективное сосуществование технологии MulteFire и

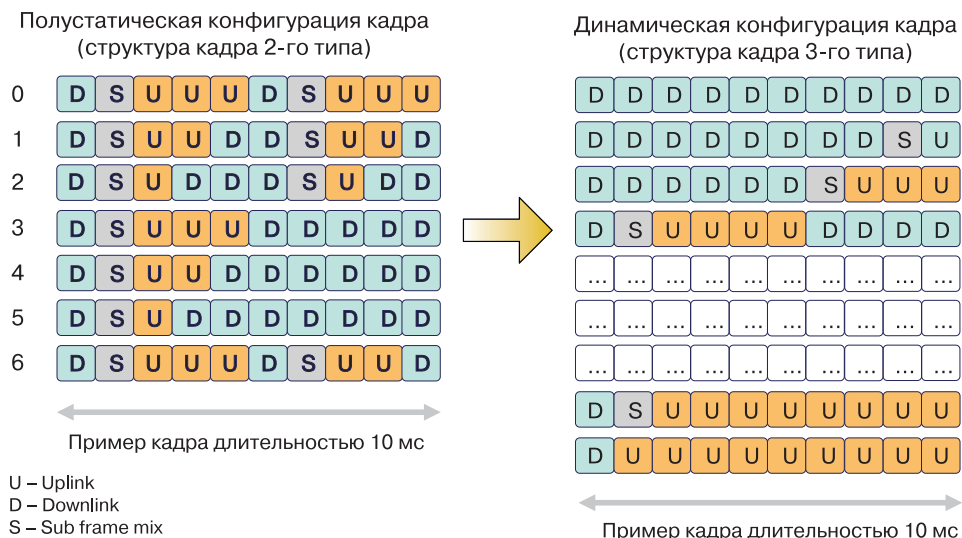
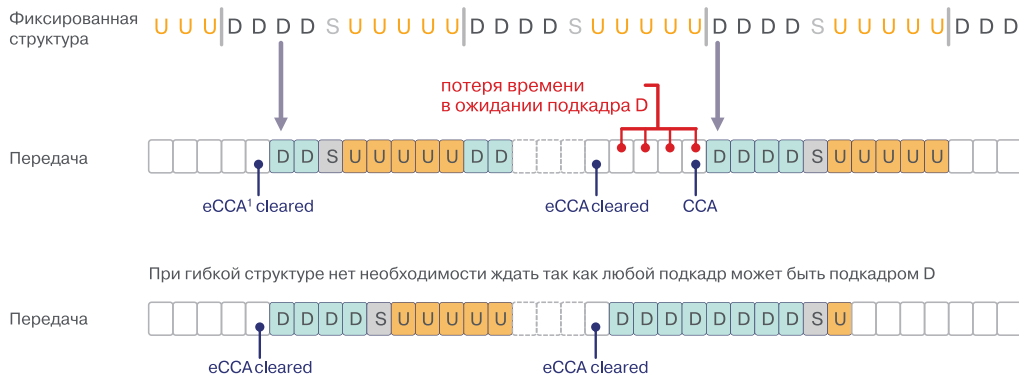


Рис. 2. Сравнение конфигурации структуры кадров различного типа



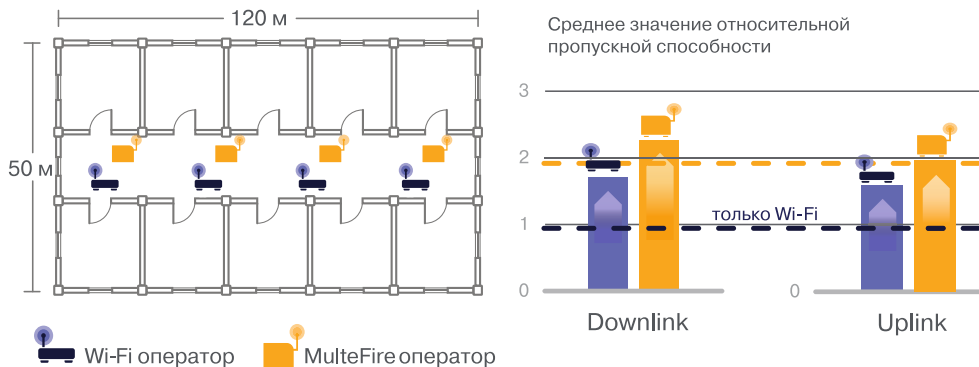
**Рис. 3. Иллюстрация преимущества гибкой структуры кадра в сравнении с постоянной**

Wi-Fi [10]. Более того, как показывают результаты теста, соседство точек доступа Wi-Fi друг с другом менее эффективно, чем с точками доступа MulteFire (в эксперименте задействовались точки доступа Wi-Fi стандарта IEEE 802.11ac и точки доступа стандарта MulteFire с одинаковой шириной полосы и технологией MIMO 2x2). Первые опыты внутри помещения продемонстрировали, что для технологии MulteFire пропускная способность возросла более чем в два раза (рис. 4), а вне помещения – более чем в

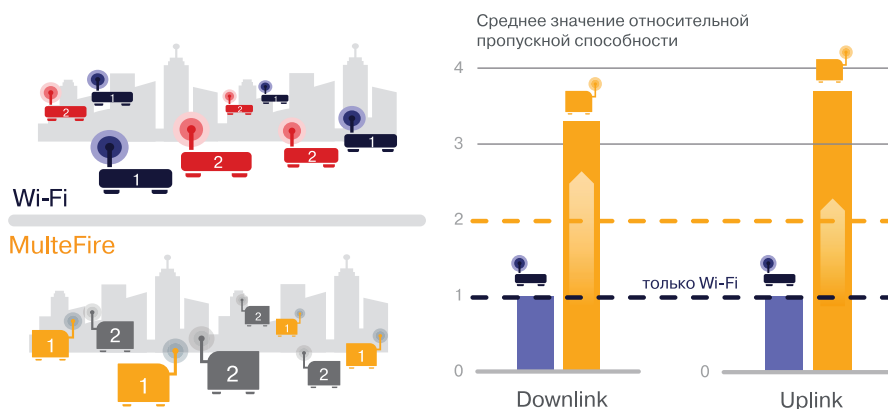
три раза (рис. 5).

Компанией Qualcomm были проведены тесты беспроводного соединения абонентского устройства с точками доступа MulteFire и Wi-Fi, которые продемонстрировали гораздо большую дальность связи по стандарту MulteFire. Кроме того, процесс передачи обслуживания абонента во время вызова или сессии передачи данных от одной точки доступа к другой (Handover) осуществлялся более мягко [11].

Однако существенным недостатком технологии



**Рис. 4. Изменение пропускной способности беспроводной сети при совместном использовании точек доступа Wi-Fi и MulteFire внутри помещения**



**Рис. 5. Изменение пропускной способности беспроводной сети при совместном использовании точек доступа Wi-Fi и MulteFire вне помещения**

MulteFire является то, что для ее использования необходимы новые приемо-передающие абонентские устройства. В то же время использование точек доступа, поддерживающих стандарт Wi-Fi 802.11ac, возможно со всеми выпускаемыми устройствами, так как стандартом предусмотрена поддержка устройств Wi-Fi более ранних версий.

Если принять во внимание тот факт, что пользователи активно используют мобильные устройства для доступа в Интернет, то возникает необходимость поддержки вновь создаваемыми устройствами стандарта MulteFire. Их разработка и широкое распространение может занять достаточно длительное время. Безусловно, стоимость такого оборудования будет выше на начальном этапе их производства, что может замедлить их выход на рынок абонентских устройств.

Еще одним фактором, который может замедлить внедрение технологии MulteFire, является разработка и внедрение стандарта 802.11ax, который несет в себе так же большие преимущества для мобильных пользователей [1].

Появление технологии MulteFire безусловно заинтересует операторов, которые изо всех сил стараются удовлетворить потребности клиентов в своих LTE-сетях. Но разработчики технологии MulteFire считают, что основное применение этой технологии будет в промышленности. Они полагают, что крупные компании смогут эффективно создать свои собственные сети MulteFire на промышленных объектах (аналогичные Wi-Fi-сетям) для подключения роботизированных устройств и устройств Internet-of-Things.

Такие ожидания связаны с тем, что многим промышленным компаниям для обслуживания промышленного оборудования необходимо организовать частные сети LTE. Однако создание такой сети требует длительного согласования на использование лицензированного диапазона частот с операторами связи, а при развертывании этих сетей в полосе частот 5 ГГц, которая остается нелицензированной во всем мире, это будет намного проще, если для этого использовать технологию MulteFire.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Макаренко В.В. 802.11ax – новая версия стандарта высокоскоростной системы связи Wi-Fi / Электронные компоненты и системы, №2, 2017. – с.

43-52.

2. <http://www.iksmedia.ru/articles/5332330-5e-pokolenie-nadezhd-i-sommenij.html#ixzz4zoT5GYik>.

3. <https://www.multefire.org/faq/>.

4. <https://www.qualcomm.com/invention/research/projects/multefire>.

5. Лазебный А.В., Лазебный В.С. The details of virtual contention window concept for 802.11 IBSS wireless local area network mathematic modelling / International Journal of Wireless Communications and Mobile Computing, №1, 2013. – с. 7 - 13.

6. MulteFire Alliance. MFA TS 36.213 Physical Channels and Modulation, Apr. 2017. - с. 447. Доступно: <https://www.multefire.org/specification/>.

7. Hwan-Joon (Eddy)Kwon, Jeongho Jeon, Abhijeet Bhorkar, Qiaoyang Ye, Hiroki Harada, Yu Jiang, Liu Liu, Satoshi Nagata, Boon Loong Ng, Thomas Novlan, Jinyoung Oh, Wang Yi. Licensed-Assisted Access to Unlicensed Spectrum in LTE Release 13 / IEEE Communications Magazine, № 2, Feb. 2017. – с. 201-207. (<http://ieeexplore.ieee.org/document/7782659/>).

8. Mina Labib, Vuk Marojevic, Jeffrey H.Reed, Amir I.Zaghloul. Extending LTE into the Unlicensed Spectrum: Technical Analysis of the Proposed Variants / IEEE Communications Standards Magazine, № 4, Dec. 2017. – с. 31 – 39. (<http://ieeexplore.ieee.org/document/8258596/>).

9. MulteFire Alliance. MFA TS 36.211 Physical Channels and Modulation, Apr. 2017. – с. 14. (<https://www.multefire.org/specification/>).

10. Dr. Tamer Kadous. Understanding MulteFire's Radio Link. – с. 6, 7, 15-18. ([https://www.multefire.org/wp-content/uploads/2016/10/MulteFire\\_Radio-Link.pdf](https://www.multefire.org/wp-content/uploads/2016/10/MulteFire_Radio-Link.pdf)).

11. <https://www.qualcomm.com/invention/technologies/lte/multefire>.

## VD MAIS

Оборудование и материалы для монтажа/демонтажа электронных компонентов (ЭК)



- Паяльное и ремонтное оборудование
- Системы очистки воздуха • Устройства трафаретной печати • Системы установки компонентов • Паяльные печи: конвекционной и селективной пайки, пайки волной
- Испытательное оборудование
- Системы визуального контроля
- Координатно-фрезерные станки
- Технологические материалы монтажа ЭК
- Средства антистатической защиты

**Дистрибуция и прямые поставки:**  
AIM, Bernstein, Charleswater, Electrolube, Essemtec, KIC, Kolver, LPKF, Magic Ray, Miele, Nordson, Optilia, PACE, PDT, Hanwha Techwin, Seho, TWS, Vision, Weiss

Украина, 03061 Киев, ул. М. Донца, 6  
тел.: (0-44) 220-0101, 492-8852, факс: (0-44) 220-0202  
e-mail: [info@vdmajs.ua](mailto:info@vdmajs.ua), [www.vdmajs.ua](http://www.vdmajs.ua)