

# Проблемы технологии LTE-U и перспективы её внедрения

Калабухов Евгений Романович,

Мустафаев Роман Валех оглы,

Шувалов Роман Игоревич

Студенты Института инженерной физики и радиоэлектроники СФУ,

Россия, Красноярск,

E-mail: [komall@bk.ru](mailto:komall@bk.ru)

## Аннотация

В данной статье рассматриваются основные принципы функционирования технологии Long Term Evolution (LTE) в не лицензируемой полосе частот. Приведены основные механизмы работы и затронуты проблемы реализации данной технологии.

Ключевые слова: мобильные сети, LTE, LTE-U, Wi-Fi, частотное разделение.

LTE-U (Long Term Evolution in unlicensed spectrum) – это технология радиодоступа, которая была предложена для обеспечения услуги беспроводной связи в нелицензированной полосе частот на 5 ГГц [1, с. 7]. До сих пор Wi-Fi (WLAN, который использует стандарт IEEE 802.11) остаётся наиболее популярным протоколом для радиодоступа в нелицензированном пространстве. Однако с течением времени появились идеи развития технологии LTE, первоначально разработанной для работы сотовой связи в сугубо лицензированном спектре частот, в нелицензированном спектре, как способ увеличения производительности Wi-Fi. Основные преимущества для LTE-U на частотах Wi-Fi, как технологической основы лучшей производительности – это управление доступом к среде, управление мобильностью и значительная величина площади покрытия.

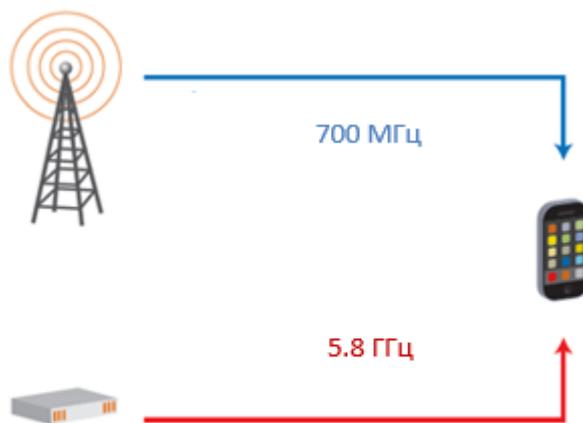


Рисунок 1 – Общий принцип работы LTE-U

Так как устройства Wi-Fi уже широко распространены в нелицензированной полосе 5 ГГц, то существует потребность в LTE-U Small Cell (SC), для корректного взаимодействия с системой Wi-Fi. Кроме того, различные операторы LTE-U могут занять тот же спектр в нелицензированной группе, чтобы предоставить услуги передачи данных своим пользователям. Такое незапланированное и неуправляемое развертывание LTE-U SC (фемтосоты, пикосоты) может привести к чрезмерным радиочастотным помехам поблизости от существующего Wi-Fi канала и других узлов оператора LTE-U. Поэтому критически важно для LTE-U SC выбрать лучший операционный канал с минимально возможной степенью интерференции, вызванной соседними сетями Wi-Fi и LTE-U. Однако есть случаи, где все доступные каналы заняты устройствами Wi-Fi, который вынуждают LTE-U SC

работать на том же канале, что и Wi-Fi. Устройства Wi-Fi не вносят искажения в распознанный сигнал LTE-U, если его уровень помех не выше энергетического порога обнаружения ( $-62\text{дБм}$  в полосе более чем  $20\text{ МГц}$ ). Без надлежащих механизмов регулирования, излучение LTE-U может вызвать значительную интерференцию на сети Wi-Fi.

У существующего LTE используется разнос каналов на  $100\text{ кГц}$  [2, с. 38]. Однако это является серьёзной проблемой, так как пространство поиска слишком большое. Целесообразно изменить разнос канала LTE-U с каналом Wi-Fi на  $20\text{ МГц}$ . В дополнение к этим несущим частотам необходимо представить дополнительный разнос каналов несущих частот приблизительно на  $20\text{ МГц}$ , что позволит выравнять поднесушие, где разнос несущих частот должен быть кратным  $300\text{ кГц}$  согласно текущей спецификации.

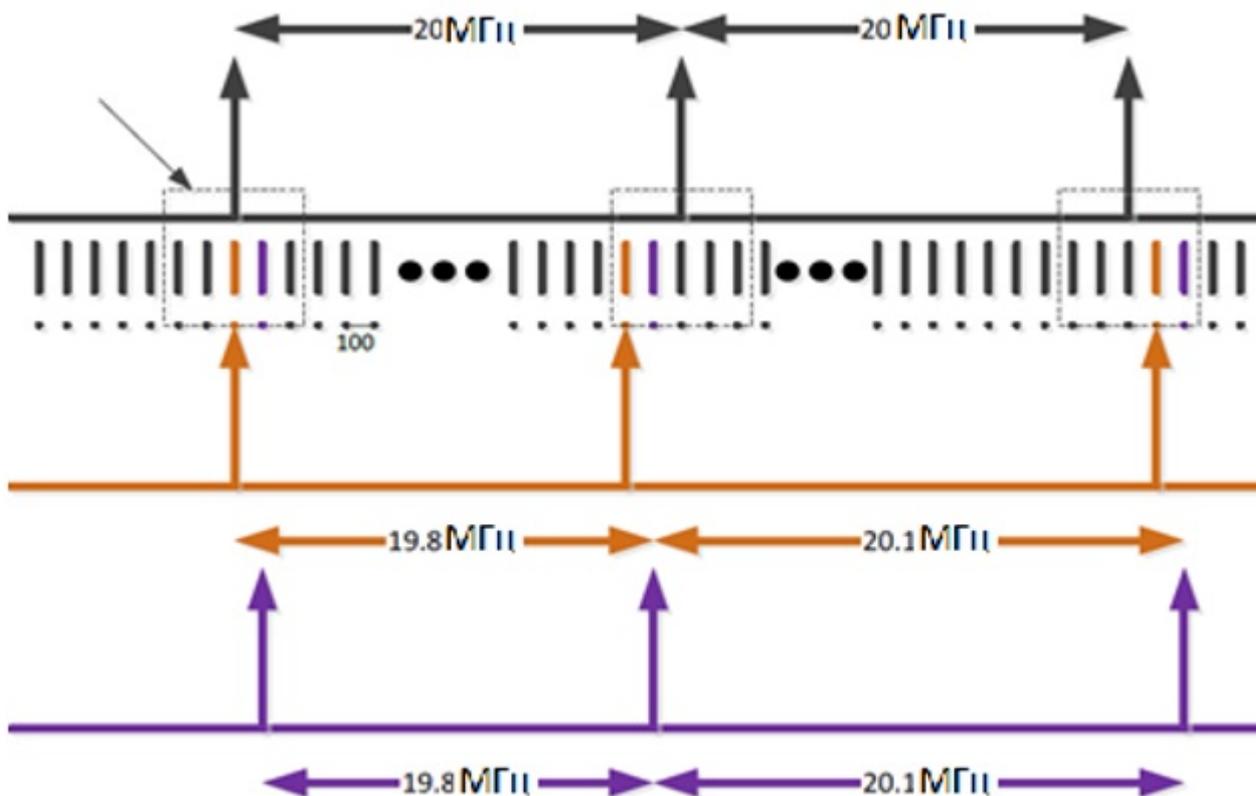


Рисунок 2 – Разрешение частот по каналам

Полные преимущества системы LTE-U в общем состоят из двух внутренних конструктивных особенностей системы.

Во-первых, каналы управления LTE разработаны для широкого покрытия и высокой надежности в среде работы, ограниченной интерференцией. Покрытие и надежность достигнуты минимизацией и сжатием битов управляющей информации и более низких уровней кодирования. Таким образом, надежность и более широкое покрытие каналов управления позволяют системе LTE-U функционировать с большим количеством мобильных пользователей и достигать большей разгрузки трафика.

Во-вторых, физические каналы LTE передачи данных и протоколы разработаны так, чтобы возможно было обработать данные в неизвестной радио среде и восстановить информацию корректно даже в условиях неблагоприятной интерференции. Поток данных LTE может быть закодирован с высоким уровнем кода канала (например,  $1/3$ ), в то время как самый низкий уровень кодирования для трафика Wi-Fi составляет  $1/2$ . Кроме того, когда декодирование данных по LTE некорректно, тогда полученные сигналы буферизуются в LTE UE и объединяются с более поздней

повторной передачей, чтобы использовать улучшенную производительность декодирования. Этот гибридный автоматический запрос повторной передачи (HARQ) улучшает производительность повторной передачи на несколько дБ, по сравнению с простым автоматическим запросом повторной передачи (ARQ) – протокол в системе Wi-Fi [3, с. 187].

Одним из определяющих параметров сравнения двух технологий стала оценка пропускной способности при 5%, 50% и 95% загрузке пользователями. Как видно из диаграммы, при одинаковой загрузке пользователями систем LTE-U и Wi-Fi большие скорости достигаются у системы LTE-U.

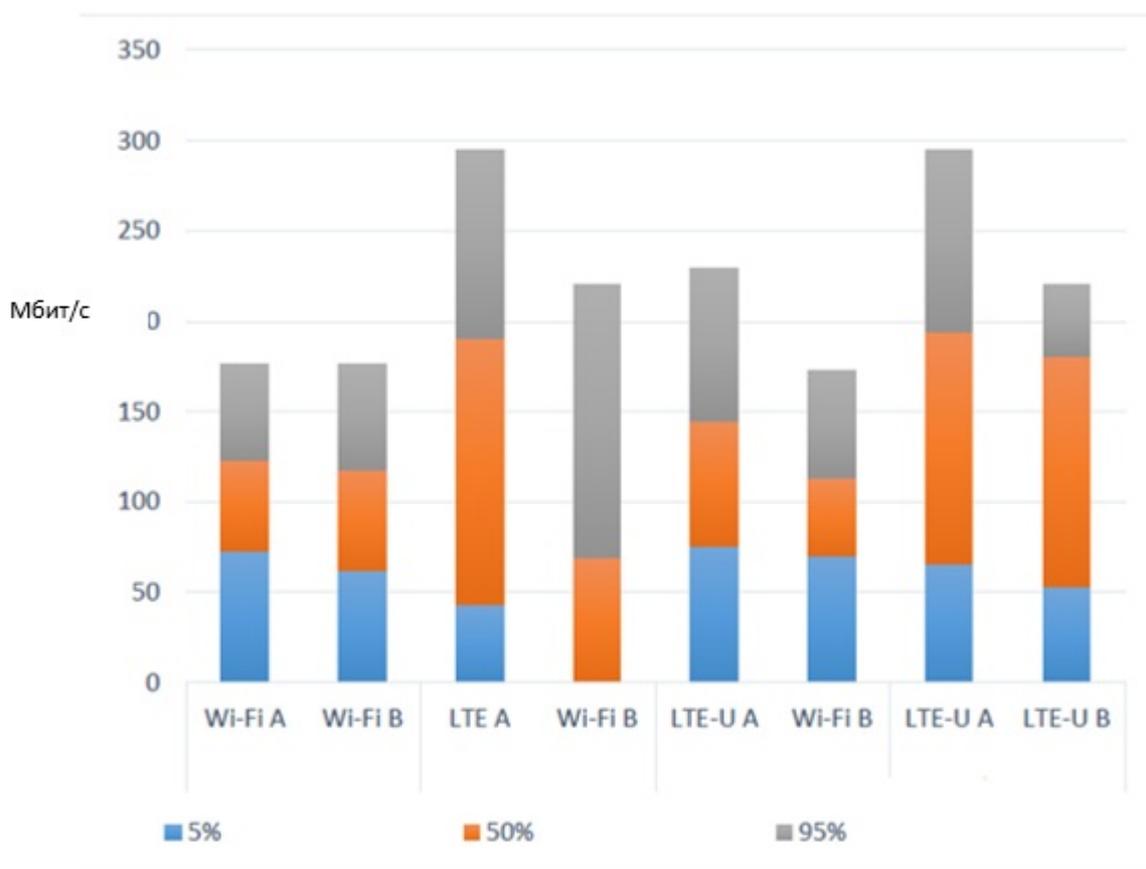


Рисунок 3 – Результаты анализа пропускной способности

Стоит отметить, что LTE-U разработан для повышения эффективности радиointерфейса LTE в не лицензируемой полосе частот, чтобы обеспечить устойчивое управление и более высокую спектральную эффективность, одновременно не внося помех сетям Wi-Fi.

Первоначально крупнейший в мире производитель чипов для смартфонов и планшетов Qualcomm предложил такую технологию, которая поможет обеспечить мобильные сети необходимой пропускной способностью. А в качестве примера реализации можно отметить южнокорейского оператора LG U+, который показал LTE-U с поддержкой скоростей до 600 Мбит/с на коммерческой сети. Для эксперимента агрегировались каналы 60 МГц (3x20 МГц) в не лицензируемом диапазоне 5,8 ГГц и 20 МГц в стандартном диапазоне LTE (1,8 ГГц). Компания планирует расширить агрегируемую полосу в диапазоне 5,8 ГГц до 80 МГц, что обеспечит возможность поддержки пиковых скоростей до 750 Мбит/с.

Таким образом, мы рассмотрели лишь самые основные моменты, на которые следовало бы обратить внимание при анализе и проектировании систем LTE-U. Однако даже короткое перечисление основных принципов технологии даёт повод самым серьёзным образом задуматься

---

над реализацией. И конечно следует отметить, что, со временем, увеличение объема запросов потребителей, рост числа абонентов, потребность в более высоких скоростях только усилят актуальность использования технологий, с применением новых принципов, новых механизмов, которые будут решать задачи конечного потребителя.

#### Литература

1. LTE-U forum, LTE-U Technical Report. Alcatel-Lucent, Ericsson, Qualcomm Technologies Inc., Samsung Electronics & Verizon, 2015, – 44 pp.
2. Гельгор А.Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 204 с.
3. Ипатов В.П., Орлов В.К. Системы мобильной связи: учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во Горячая линия–телеком, 2003. – 272 с.