

Динамическое управление радиочастотным ресурсом сетей 5G для различных видов доступа к РЧС

В.О. Тихвинский, главный научный сотрудник ФГУП НИИР, заместитель генерального директора АО «НИИТС» по инновационным технологиям, профессор МТУСИ, д.э.н.; vtiiir@mail.ru

УДК 621.391.1

Аннотация. На этапе разработки технических требований к оборудованию сетей 5G было предложено довольно много инновационных решений, которые расширяют возможности и повышают эффективность уже выделенного сети радиочастотного ресурса благодаря различным методам динамического управления ресурсом. Однако их внедрение требует изменения действующих регуляторных правил доступа к радиочастотному спектру (РЧС), особенно это касается России. Рассматриваются сценарии и функциональные модули, обеспечивающие динамическое управление радиочастотным ресурсом сетей 5G при использовании нелицензируемого спектра и при лицензированном шеринге спектра.

Ключевые слова: радиочастотный спектр (РЧС), электромагнитная совместимость (ЭМС), LAA, LSA, NG RAN, сети связи 5G.

ВВЕДЕНИЕ

Регламентом радиосвязи [1] определены два принципа доступа к радиочастотному спектру и использования РЧС:

- индивидуальная авторизация использования спектра (лицензированная);
- общая авторизация (свободная от лицензирования/ нелицензируемая).

Использование РЧС в странах ЕС, согласно Директиве об общей авторизации 2002/20/ЕС [2], также разрешено пока только для двух случаев: для индивидуальной авторизации прав доступа к использованию спектра (получение индивидуальной лицензии) и для общей авторизации прав доступа к использованию спектра (нелицензируемое использование спектра).

Однако, в целях повышения эффективности использования радиочастотного ресурса для новых технологий мобильной связи, включая 5G, ведутся работы по динамическому управлению совместного использования (частотного шеринга) радиочастотного ресурса для обоих приведенных выше случаев [3].

Эти инновации основаны на нормативных правилах МСЭ и ЕС при индивидуальной и общей авторизации прав доступа к спектру для реализации различных его технологий и моделей совместного использования (шеринга) спектра (SA), в которых может применяться динамическое управление частотным ресурсом сетей 5G.

РЕАЛИЗАЦИЯ 3GPP ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫМ РЕСУРСОМ В СЕТЯХ 5G

При применении новых принципов использования спектра для повышения возможностей сетей мобильной связи, включая 5G, Партнерский проект по системам 3-го поколения (3rd Generation Partnership Project, 3GPP) рассматриваются следующие технологии:

LAA (Licensed-Assisted Access). Основана на использовании участков нелицензируемого спектра со свободным доступом пользователей для формирования дополнительных частотных каналов вторичных агрегируемых несущих (Secondary Component Carrier, SCC) в групповом агрегируемом сигнале как в линии вверх (UL), так и в линии вниз (DL);

LSA (Licensed Sharing Access). Основана на совместном использовании участков лицензируемого спектра, выделенных операторам одной или нескольких радиослужб.

Впервые использование технологии LAA для нелицензируемых диапазонов в сети радиодоступа было предложено на этапе развития сетей 4G в Техническом отчете 3GPP TR 36889 (Релиз 13) [4]. Однако использование LAA в нелицензируемых диапазонах было ограничено лишь диапазоном 5 ГГц.

В рамках исследований 3GPP по созданию нового радиоинтерфейса (New Radio, NR) в Релизе 15 для сетей 5G было рекомендовано рассмотреть применение технологии LAA в сети радиодоступа NG-RAN, расширив ее применение на нелицензируемые диапазоны 5 ГГц (5725–5875 ГГц), 24 ГГц (24–24,25 ГГц), 61 ГГц (61–61,5 ГГц), согласно пп. 5.150 и 5.138 Регламента радиосвязи.

При проведении 3GPP исследований технологии LAA в сети радиодоступа NG-RAN учитывалась Рекомендация МСЭ-R М.1652-1 (05/2011) «Динамическая частотная селекция в системах беспроводного доступа, включая локальные радиосети, в целях защиты службы радиоопределения в диапазоне 5 ГГц» [5]. В этом документе изложены требования к механизму динамической частотной селекции (Dynamic Frequency Selection, DFS) как к методу ослабления помех при совместном использовании радиочастот в нелицензируемом диапа-

зоне 5 ГГц устройствами WAS/RLAN и радиосредствами службы радиоопределения (радары). Здесь также приведены требования по обнаружению сигналов от радаров с уровнем, превышающим минимальный порог (-62 дБм для устройств с максимальной эквивалентной изотропно излучаемой мощностью (ЭИИМ) менее 200 мВт и -64 дБм для устройств с максимальной ЭИИМ от 200 мВт до 1 Вт). Кроме того, устройства WAS/RLAN должны проверять доступность каналов, регулярно прослушивая их в течение 60 с, для того чтобы определить, работает в этом канале радар или нет.

В Техническом отчете 3GPP TR 38889 (Релиз 15) [6] рассмотрены факторы, обеспечивающие возможность использования LAA:

- применение радиоинтерфейса NR в нелицензируемом спектре, включая физические каналы, дуплексные режимы, формы сигнально-кодовой конструкции, ширины полосы пропускания, интервала между поднесущими, структуры кадра и дизайна физического уровня радиоинтерфейса NR;
- использование нелицензируемых полос ниже 7 ГГц;
- прямая совместимость, реализованная в радиоинтерфейсе NR;
- начальный доступ в сеть, доступ к каналу, планирование/повторение с переспросом (HARQ) и мобильность абонентов, включая работу подключенного/неактивного/ждущего режима и режима мониторинг/отказ связи;
- методы обеспечения электромагнитной совместимости в радиоинтерфейсе NR и между радиоинтерфейсами NR в нелицензированном диапазоне для технологии LAA и радиоинтерфейсами LTE и другими RAT в соответствии с нормативными требованиями для диапазонов 5 и 6 ГГц;
- методы обеспечения ЭМС, определенные при применении LAA в сетях LTE для диапазона 5 ГГц, который следует рассматривать как основной диапазон для режима LAA. При этом работа радиоинтерфейса NR в нелицензируемом спектре не должна влиять на развернутые там сети Wi-Fi (данные, видео и голосовые услуги) больше, чем включение дополнительной сети Wi-Fi в том же диапазоне.

ДИНАМИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДЛЯ НЕЛИЦЕНЗИРУЕМОГО СПЕКТРА В СЕТЯХ 5G

Принцип использования нелицензируемых диапазонов при агрегации компонентных несущих из лицензируемых и нелицензируемых диапазонов в сети радиодоступа NG-RAN с технологией LAA показан на рис. 1.

Особенностями агрегации несущих в сетях 5G являются:

- возможность агрегации до 16 несущих (смежных и несмежных);

Рисунок 1

Принцип использования технологии LAA в сети радиодоступа NG-RAN

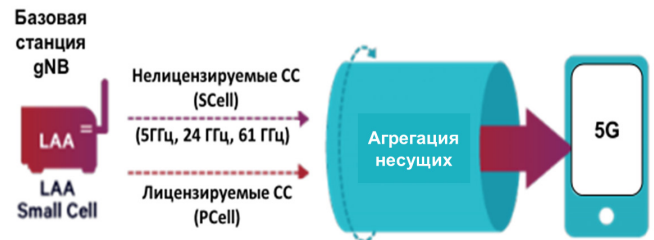
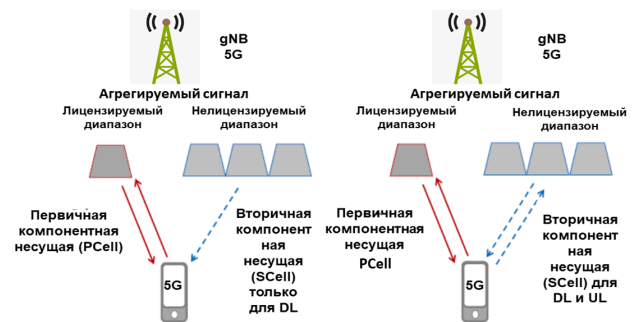


Рисунок 2

Формирования первичной и вторичных несущих агрегируемого сигнала сети радиодоступа NG-RAN в режиме LAA



- агрегация несущих разных частотных диапазонов частот для передачи данных в течение одной сессии;
- использование ширины агрегируемой полосы до 1 ГГц;
- формирование для агрегированных сигналов NG-RAN различных нумерологий, определяющих разнос поднесущих для высоких и низких диапазонов нелицензируемого спектра.

Формирование первичной несущей (PCell) и вторичных несущих (SCell) агрегируемого сигнала сети радиодоступа NG-RAN с технологией LAA в нелицензируемых диапазонах частот показано на рис. 2.

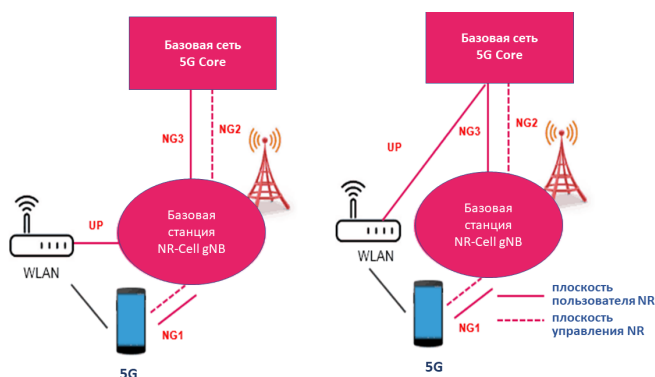
Анализ рис. 2 показывает, что вторичные несущие (SCell) агрегируемого сигнала сети радиодоступа NG-RAN, формируемые из доступного спектра в нелицензируемых диапазонах частот, будут использоваться как в линии вверх, так и в линии вниз.

Для работы сети радиодоступа NG-RAN с технологией LAA в поддиапазоне FR1 (ниже 6 ГГц) 3GPP было предложено пять сценариев [6]:

Сценарий А. Агрегация первичной компонентной несущей PCell радиоинтерфейса NR, формируемой базовой станцией (БС) gNB в лицензируемом диапазоне, и вторичной компонентной несущей SCell радиоинтерфейса NR-U – в нелицензируемом диапазоне. Вторичные несущие SCell радиоинтерфейса NR-U в нелицензируемом диапазоне будут использоваться как в линии

Рисунок 3

Использование сети радиодоступа NG-RAN и точки доступа WLAN (Wi-Fi) в режиме 5GWA



вниз, так и в линии вверх или только в линии вниз.

Сценарий В. Двойное подключение абонентского терминала (АТ) 5G к базовым станциям eNB (LTE) мастер-соты и к gNB (5G) вторичной соты. Для подключения к БС сети LTE радиointерфейсом Uu используются только первичная компонентная несущая PCell в лицензируемом диапазоне. Для подключения абонентского терминала 5G к базовым станциям gNB радиointерфейсом NR-U используется агрегация для вторичных компонентных несущих SCell в нелицензируемом диапазоне.

Сценарий С. Автономная работа в режиме LAA, при которой радиointерфейс NR-U в нелицензируемом диапазоне используется на базовых станциях gNB (5G) и агрегация несущих осуществляется установленным в Релизах 15 и 16 способом.

Сценарий D. Работа, при которой на базовых станциях gNB (5G) в линии вниз используется радиointерфейс NR-U в нелицензируемом диапазоне, а в линии вверх — радиointерфейс NR в лицензируемом диапазоне.

Сценарий E. Двойное подключение терминала 5G к двум базовым станциям gNB (5G), при котором используется первичная компонентная несущая PCell радиointерфейса NR, формируемая базовой станцией gNB в лицензируемом диапазоне. Агрегация компонентных несущих PSCell в мастер- и вторичной соте выполняется другой базовой станцией gNB в радиointерфейсе NR-U в нелицензируемом диапазоне.

Радиointерфейс NR-U применяется в нелицензируемых диапазонах [7] для дополнительной функциональности, необходимой для проектирования физического уровня сети РНУ (за исключением функции доступа к каналу) в нелицензируемом спектре для определенных диапазонов частот (например, ниже 7 ГГц, от 7 до 52,6 ГГц, выше 52,6 ГГц).

Диапазоны частот, кроме диапазона 5 ГГц для нелицензируемого использования спектра в радиointерфейсе NR-U сети радиодоступа NG-RAN, должны быть определены дополнительно на этапе стандартизации

фазы 2 в Релизах 16 и 17. С другой стороны, может возникнуть потребность в оптимизации радиointерфейса NR-U для конкретной полосы частот по причине ограничений на спектральную плотность мощности сигналов (PSD) или требований к занимаемой полосе частот (OCB) для каждого диапазона частот. Ширина полосы канала ниже 5 МГц не рассматривается.

Кроме рассмотренного режима LAA, в настоящее время Партнерским проектом 3GPP в TS 23.234 исследуется использование режима 5GWA (5G-Wi-Fi Aggregation) [4], при котором базовая станция 5G агрегирует полосы из лицензируемых диапазонов для 5G и нелицензируемых полос Wi-Fi (рис. 3).

При использовании режима 5GWA могут быть реализованы два варианта совместного использования устройства точки доступа WLAN (Wi-Fi) и базовой станции gNB сети радиодоступа NG-RAN в нелицензируемом диапазоне:

- подключение устройства WLAN (Wi-Fi) в нелицензируемом диапазоне по интерфейсу UP к базовой сети 5G Core (Next Gen Core) через БС gNB сети радиодоступа NG-RAN и к абонентскому устройству 5G;
- прямое подключение устройства WLAN (Wi-Fi) в нелицензируемом диапазоне по интерфейсу UP к базовой сети 5G Core (Next Gen Core) и к абонентскому устройству 5G.

Недостатками использования технологии LAA в сетях 5G являются небольшая ширина нелицензируемых диапазонов частот (100–250 МГц) и их серьезная нагрузка другими радиосредствами, что приводит к высокому уровню помех и делает невозможным их применение в бизнес-моделях критических услуг 5G, таких как услуги uRLLC. Кроме того, применение различных технологий процедур осуществляется путем динамического выбора свободных каналов (CCA) в нелицензируемых полосах, таких как LBT и DFS, увеличивает задержки, накапливаемые в радиointерфейсе 5G, что также будет ограничивать применение технологии LAA в сетях 5G.

ДИНАМИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРИ ЛИЦЕНЗИРОВАННОМ ШЕРИНГЕ СПЕКТРА В СЕТЯХ 5G НА ОСНОВЕ QoS

До настоящего времени в рамках системы глобальной стандартизации 5G не разработаны алгоритмы управления спектральными ресурсами сети 5G таким функциональным элементом, как спектральный менеджер (HSM), при трехмодовой авторизации прав на доступ и использование радиоспектра. Поэтому основными критериями при управлении использованием спектра будет качество предоставления услуг (QoS) пользователям сети 5G, так как энергетический критерий — соблюдение определенного допустимого уровня соканальных помех при шеринге спектра — будет более сложным для контроля со стороны регуляторных органов, вводящих лицензированный шеринг как метод авторизации доступа к спектру.

Управление частотным ресурсом в сети 5G в случае использования полосы спектра с лицензированным шерингом будет основано на текущем мониторинге параметров QoS, выполняемом на внутрисетевом уровне. Рассмотрим этот вопрос более детально для различных сценариев использования спектра.

Новый принцип лицензируемого совместного использования (шеринга) спектра поддерживается новым сетевым элементом — спектральным менеджером HSM. Сценарии совместного использования РЧС реализуются совокупностью способов управления спектром при помощи функционального модуля Spectrum toolbox — в зависимости от вида услуги (eMBB, URLLC или mMTC), запрашиваемой абонентским терминалом 5G в сети, от совокупного уровня внутрисистемных и межсистемных помех в сети, а также от заданного регулятором спектра (администрацией связи) уровня QoS для применения лицензированного частотного шеринга LSA в разрешенных полосах.

Альтернативой горизонтальному распределению спектра между несколькими сетями операторов 5G является использование спектрального менеджера HSM для обеспечения горизонтального управления распределением спектральных ресурсов между сетями 5G, равными по нормативному приоритету. Информация о доступности спектра, предоставленная спектральным менеджером центру управления сетью OMC 5G, является эксклюзивной, т.е. определенные для доступа спектральные ресурсы предназначены только для одной сети 5G.

Спектральный менеджер в сети 5G отвечает за беспомеховое повторное использование спектра в пространстве, т.е. за то, на каком расстоянии один и тот же частотный ресурс может быть повторно назначен для одного и того же участка спектра (частотного канала). Решение о распределении частотного ресурса основывается на определенной политике использования спектра, которая может включать в себя переговоры или торги между операторами связи, использующими полосу по принципу лицензированного шеринга [7–10]. Все ограничения в выборе сетевой политики между пользователями спектра по принципам LSA опираются на ограничения недопустимого уровня помех, создаваемых использованием спектра на основе спектрального шеринга, или внутрисетевой помехи.

Если спектральный ресурс, управляемый HSM при лицензированном шеринге, соответствует требованиям по защите основного пользователя спектра 5G (условие $QoS_{STK} > QoS_{STP}$), то спектральный менеджер HSM может соединиться с геолокационной базой данных (БД) использования спектра (Geo-Location Data Base, GLDB) в районе развертывания сети 5G и получить разрешение на использование участка лицензированного шеринга.

База данных GLDB применяется для сбора информации, связанной с использованием спектра в полосах

лицензированного шеринга, принадлежащего первичному пользователю, в случаях, когда требуется как горизонтальное, так и вертикальное его распределение между пользователями.

Спектральный менеджер будет рассматривать только те частотные ресурсы лицензированного шеринга, которые доступны для повторного использования, и распределит их между пользователями со вторичными правами доступа.

Роль спектрального менеджера может быть определена регулирующим частотным органом либо независимой доверенной третьей стороной или даже одним из владельцев лицензии радиочастотного спектра. Операторы мобильной связи могут достичь взаимного согласия о совместном использовании выделенного частотного спектра на основе индивидуального разрешения регулятора, для того чтобы иметь общий ресурс спектра, дополненный спектральными ресурсами каждого из операторов и доступный для всех операторов, использующих лицензированный шеринг. В частности, ожидается, что технология LSA предоставит дополнительные возможности для совместного использования спектральных ресурсов в будущем. В таких схемах спектральный менеджер может обеспечить выигрыш, несмотря на ограниченность спектра при совместном использовании (шеринге).

База данных GLDB должна представлять собой централизованную базу данных, используемую для вертикального управления и распределения спектрального ресурса в сети 5G. Цель такого управления — обеспечивать беспомеховое использование спектрального ресурса, гарантируя при этом, что каждый пользователь с более высоким нормативным приоритетом доступа к спектру будет работать без помех при условии выделения участков спектра для LSA от операторов связи, использующих спектр с более низким приоритетом. Это касается как нелицензируемого использования спектра, так и использования спектра на основе лицензированного спектрального шеринга LSA.

В информации о доступности спектра, предоставляемой GLDB, не принимаются в расчет данные о горизонтальном распределении спектра, т.е. то, насколько эти ресурсы доступны для всех основных пользователей во времени. GLDB может быть расширена дополнительным механизмом для горизонтального распределения спектральных ресурсов. Этот механизм обеспечивает возможность применения динамического управления для горизонтального распределения спектра, а также гораздо более простых механизмов, таких как заурядное назначение фиксированных поддиапазонов.

В случае динамического управления спектром предпочтительно решение на основе спектрального менеджера HSM, поскольку этот модуль может быть реализован в одном физическом модуле с базой данных GLDB.

Операторы сетей связи 5G, вторичные по приоритету использования спектра, перед тем, как начать исполь-

зование спектральных ресурсов, обязаны обращаться к GLDB. Они должны определить местоположение своих РЭС (БС и АТ сети 5G) и прибегнуть к базе данных, чтобы выяснить, какие частоты можно использовать в этом месте. Эффективность такого решения зависит от нескольких параметров: точности определения местоположения РЭС сети 5G, частоты запросов в базу данных и ее качества. Вторичные по приоритету использования спектра операторы 5G не получат разрешения использовать спектр на основе шеринга до тех пор, пока сервер управления базы данных GLDB не сообщит, какие каналы доступны в месте нахождения РЭС вторичного пользователя спектра – оператора сети 5G.

Недостатками использования технологии LSA в сетях 5G является накопление задержки при принятии решения спектральным менеджером о возможности использования полос LSA за счет необходимости обращения к геолокационной базе данных, что делает их неприменимыми в бизнес-моделях критических услуг 5G, таких как услуги uRLLC. Кроме того, целесообразность использования технологии LSA в сетях 5G в миллиметровом

диапазоне волн при высоких ресурсных возможностях по выделению частотных каналов шириной до 1 ГГц также пока не определена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Динамическое управление спектром как способ повышения эффективности использования выделенного операторам 5G частотного ресурса применимо для всех видов доступа к спектру, определенных национальной нормативной правовой базой, за исключением лицензированного шеринга спектра.

Реализация динамического управления частотным ресурсом сети 5G требует дополнения сетевой инфраструктуры новым функциональным модулем – спектральным менеджером.

Динамическое управление использованием частотного ресурса сети 5G реализуется на основе множества сценариев, которые зависят от вида шеринга и критериев обеспечения совместной беспомеховой работы с РЭС других операторов сетей 5G и других РЭС, использующих нелицензируемый спектр совместно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ITU Publications: The Radio Regulations, Edition of 2016. – URL: <https://www.itu.int/pub/R-REG-RR/ru>.
2. Directive 2002/20/EC of the European Parliament and of the Council of 7 March 2002 on the authorization of electronic communications networks and services.
3. Opportunistic spectrum sharing and White space access: The practical reality / Edited by O. Holland, H. Bogucka, A. Medeisis. – Wiley&Sons, 2015. – P. 695.
3. RSPG Opinion on Licensed Shared Access (Doc. RSPG13-538). – 12 November 2013.
4. Технический отчет 3GPP. TR 36889. Study on Licensed-Assisted Access to Unlicensed Spectrum (Release 13). – 2014
5. Рекомендация МСЭ-R М. 1652-1 (05/2011). Динамическая частотная селекция в системах беспроводного доступа, включая локальные радиосети в целях защиты службы радиоопределения в диапазоне 5 ГГц.
6. Технический отчет 3GPP. TR 38889 Study on NR-based Access to Unlicensed Spectrum (Release 15). – 2018.
7. **Fernando, Beltrán.** Dynamic Spectrum Management in 5G: Lessons from Technological Breakthroughs in Unlicensed Bands Use / Fernando Beltrán, Sayan Kumar Ray, Jairo Gutiérrez // In Book: Smart Grid and Innovative Frontiers in Telecommunications. – 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-94965-9_25.
8. ETSI TR 103 113 (V1.1.1, 07/2013) – Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); System Reference Document for LSA. Mobile broadband services in the 2300 MHz – 2400 MHz frequency band under Licensed Shared Access regime. – URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103100_103199/103113/01.01_01_60/tr_103113v010101p.pdf
9. ETSI TS 103 154 (V0.0.11, Draft 05/2014) – System Requirements for LSA. System requirements for operation of Mobile Broadband Systems in the 2300 MHz – 2400 MHz band under Licensed Shared Access”.
10. ETSI TS 103 235 (V0.0.1, Draft 01/2014) – System Architecture for LSA. System Architecture and High-Level Procedures for operation of Licensed Shared Access (LSA) in the 2300 MHz–2400 MHz band.

Получено 16.06.19