

Требования к тестированию совместимости систем 5G с другими радиосистемами

Появление сигналов 5G в переполненном радиочастотном спектре увеличивает вероятность взаимных помех

Опубликованный в декабре 2017 г. первый выпуск стандарта 5G New Radio (NR) – релиз 15 – закладывает основы надежных высокоскоростных соединений с низкими задержками для связи с миллиардами устройств интернета вещей (IoT), которые через несколько лет будут постоянно находиться онлайн. Благодаря масштабируемому разнесению поднесущих, гибким возможностям по модификации типа используемых сигналов и новым частотным диапазонам, технология 5G NR обеспечивает надежную основу для реализации множества вариантов применения, предусмотренных документом 5G IMT-2020.

Но достижение этих целей возможно только при рациональном использовании РЧ-спектра. Вновь выбранные рабочие диапазоны обеспечивают более высокую скорость передачи и лучшую пропускную способность. Но сейчас РЧ-спектр уже переполнен, и добавление новых рабочих диапазонов увеличивает вероятность помех в соседнем канале, а в ряде случаев – наложения на полосы частот, уже выделенные для других систем, например, военных или спутниковых. Системам 5G NR нужно работать в участке спектра, близком к существующим диапазонам спутниковой связи, а иногда и внутри диапазонов, используемых другими беспроводными коммуникационными системами, что создает новые проблемы в их совместной работе. Разработчики устройств 5G NR должны обеспечить их соответствие заданным характеристикам и возможность совместной работы с сетями 4G, Wi-Fi и другими беспроводными системами, с которыми они делят один РЧ-спектр и для которых они могут создавать помехи.



Словарное определение «совместимость» включает в себя два аспекта: «способность или возможность совмещаться, совпадать» и «свойство объекта вступать во взаимодействие с другими объектами, при котором участвующие в указанном взаимодействии объекты не в полной мере исключают проявление друг друга». Оба аспекта относятся и применимы к 5G. Достижение ожидаемого уровня производительности любой системы связи будет зависеть от ее способности к совместному сосуществованию.¹

1. www.merriam-webster.com/dictionary/coexist

Таблица распределения радиочастот в США

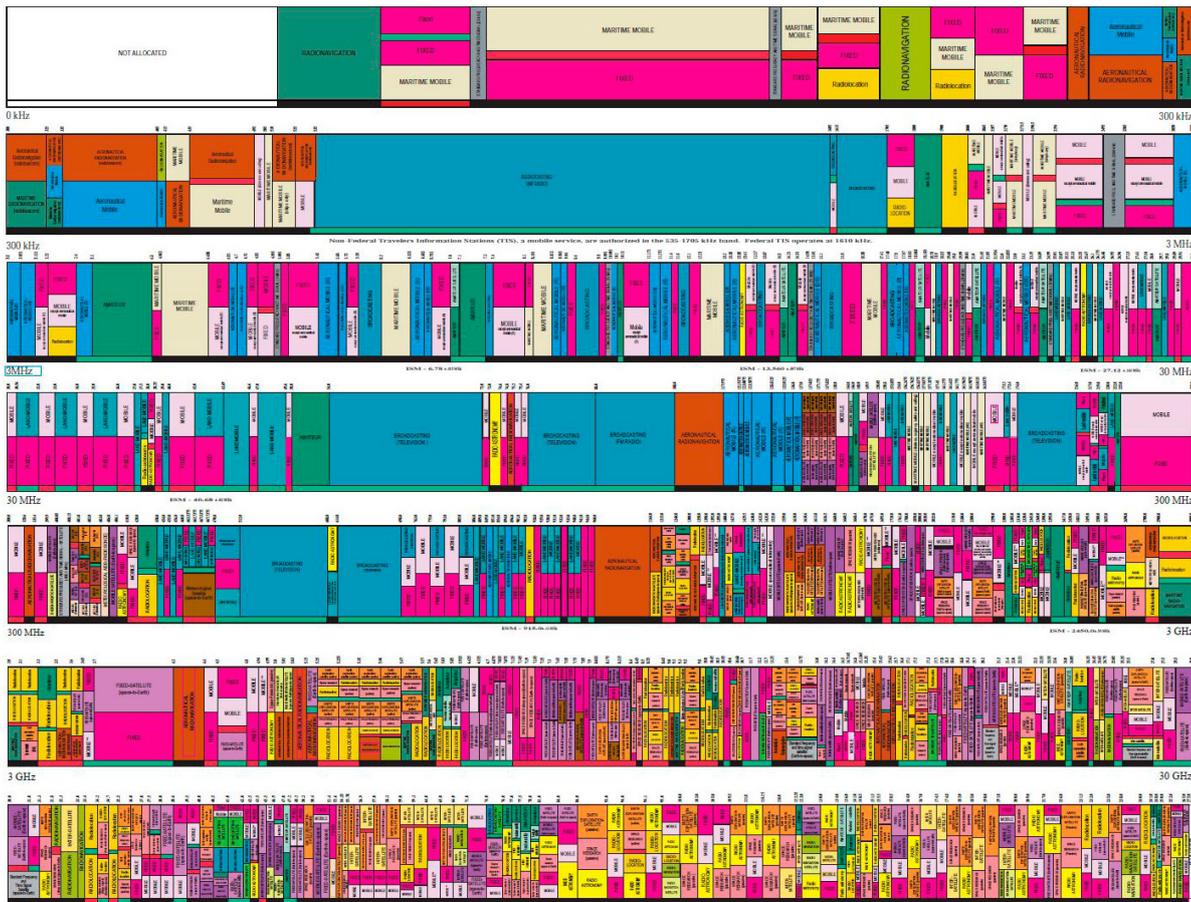


Рис. 1. Распределения современного РЧ-спектра по данным Министерства торговли США²

Вопросы совместимости систем 5G с другими радиосистемами

Ряд рабочих диапазонов LTE будет перенацелен для 5G NR. Также будут добавлены новые диапазоны – ниже 6 ГГц и миллиметровый диапазон. В диапазоне частот 1 (FR1) появятся три новых рабочих диапазона между частотами 3,3 ГГц и 5 ГГц, увеличивающие возможности связи на частотах ниже 6 ГГц. Новые рабочие диапазоны в диапазоне частот 2 (FR2) между частотами 24,25 ГГц и 40 ГГц предлагают более широкие полосы каналов для поддержки высокоскоростных приложений, таких как передача видеопотоков 4K, 8K или UHD. Предполагается, что первые реализации FR2 будут фиксированными широкополосными приложениями «точка-точка» и «точка-множество точек». Они планируются к вводу в эксплуатацию в конце 2018 г. Появление мобильных устройств, работающих в обоих диапазонах FR1 и FR2, ожидается в 2019 г.

2. https://www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/january_2016_spectrum_wall_chart.pdf



Диапазон частот 1: от 400 МГц до 6 ГГц	Диапазон частот 2: от 24,25 до 52,6 ГГц	
Добавление нового участка спектра 1,5 ГГц к диапазонам частот	Добавление нового участка спектра 8,25 ГГц к диапазонам частот	В настоящее время для будущих релизов изучается возможность использования диапазона частот до 90 ГГц
n77: 3.3–4.2 ГГц n78: 3.3–3.8 ГГц n79: 4.4–5 ГГц	n257: 26.5–29.5 ГГц n258: 24.25–27.5 ГГц n260: 37–40 ГГц	

Таблица 1. Новые рабочие диапазоны 5G NR

Рабочие диапазоны 5G NR обозначены буквой n перед их номером. Однако каждый регион может распределять и использовать спектр по своему усмотрению.

Имеется множество участков спектра, где у 5G NR могут быть проблемы совместимости с другими системами. Для увеличения пропускной способности и более эффективного использования спектра стандарт 4G LTE Advanced Pro предлагает технологии LTE Unlicensed (LTE-U), Licensed Assisted Access (LAA) и MulteFire, которые позволяют LTE работать в нелицензируемом спектре. Технология LAA использует частоты сети 4G и предусматривает механизм «слушай, прежде чем сказать» (Listen Before Talk, LBT), чтобы убедиться, что в данный момент в нелицензируемом спектре не выполняется никаких других операций. LAA требует тщательной проработки совместной работы и внимательного тестирования из-за множества вариантов взаимодействия различных протоколов, используемых в одних и тех же полосах частот.

В дополнение к существующим рабочим диапазонам 4G, «средние» полосы частот 5G (3,3–4,2 ГГц, 3,3–3,8 ГГц, 4,4–5 ГГц) должны совместно работать с системами IEEE 802.11ac и 802.11ax в сетях Wi-Fi 2,4 ГГц и 5 ГГц. Без надлежащей фильтрации интермодуляционные составляющие могут вызвать помехи в этих полосах. Также предлагается использовать нелицензируемые диапазоны ISM (промышленность, наука и медицина) в качестве дополнительных каналов, что приводит к сценарию с совместным использованием спектра и требует дополнительного тестирования.

Во многих странах политика и процедуры совместного использования лицензируемого и нелицензируемого спектров еще не определены. Но в США уже существуют сценарии совместного использования спектра коммерческими сетями LTE и военными радиолокационными системами. Кто обладает приоритетом в таких ситуациях? Как управлять распределением спектра? Нужно ответить на множество вопросов. Консорциум 3GPP начал работу над стандартом 5G NR phase II, который планируется выпустить в конце 2019 г. В нём будет говориться о совместном использовании лицензируемого и нелицензируемого спектров.



В июле 2016 г. Федеральная комиссия по связи США (FCC) выделила спектральный диапазон с суммарной протяженностью 11 ГГц для операторов стационарной и мобильной связи в высокочастотной части спектра. Из них на лицензируемый спектр приходится 3,85 ГГц, а на нелицензируемый – 7 ГГц, включая участки 27,5–28,35 ГГц, 37–38,6 ГГц и 38,6–40 ГГц. Некоторые из них пересекаются с вновь заданными рабочими диапазонами 5G NR, частотами восходящих линий наземных станций (27,5–29,5 ГГц) и нисходящих линий (37,5–40 ГГц) фиксированной службы спутниковой связи (FSS). Позже в этом году FCC выставит на аукцион лицензии UMFUS на частотные диапазоны 28 ГГц и 24 ГГц. Американские провайдеры уже планируют предоставлять услуги беспроводной связи в диапазонах 29 ГГц и 39 ГГц в конце 2018 г.

Работа в совместно используемом спектре создает большие проблемы для операторов сетей и производителей оборудования, которые должны обеспечить сосуществование 5G с имеющейся коммерческой беспроводной инфраструктурой, а также с гражданскими и военными радиолокационными системами. Для снижения влияния помех и обеспечения надежного и предсказуемого поведения абонентского оборудования и сети необходимо оценить работу испытываемого устройства (ИУ) в управляемых сценариях совместной работы. Рассмотрим эту совместную работу с двух позиций.

- **Минимизация помех.** Чтобы минимизировать помехи другим приемникам, требуется свести к нулю паразитные излучения передатчика внутри и вне его рабочей полосы и особенно возле ее границ. Разработчики должны убедиться в том, что устройство не создаёт помех другим радиоузлам внутри себя самого, а также другим радиосигналам в канале или соседнем участке спектра.
- **Работа в совместно используемом спектре.** Одним из проверенных и жизнеспособных способов повышения производительности и пропускной способности устройств является использование нелицензируемого общего спектра. Проверенный подход к обеспечению сосуществования в совместно используемом спектре заключается в том, что сначала следует убедиться в отсутствии любых других передач, и только затем начать собственную передачу. Время, необходимое для обнаружения, распределения и перераспределения частот в спектре, является неотъемлемым критерием качества обслуживания пользователей устройства.

Минимизация помех

Так же, как это было с предыдущими стандартами беспроводной связи, 3GPP определяет перечень испытаний на соответствие требованиям стандарта, которые должны обеспечить минимально допустимый уровень качества функционирования устройств. Испытания на соответствие стандарту обеспечивают результат «годен/не годен» по таким параметрам, как интермодуляционные составляющие и паразитные излучения передатчика, а также внутриполосные и внеполосные паразитные излучения, блокирующие приемник. Однако эти тесты не показывают, насколько значения характеристик устройства близки к предельно допустимым. Гармонические и внеполосные излучения, а также интермодуляционные составляющие передатчика при этом могут создавать помехи другим системам беспроводной связи, поэтому перед разработчиками возникают следующие вопросы:

- Каково взаимное влияние сигналов помех?
- Насколько сильно требуется подавлять внутри- и внеполосные помехи?
- Насколько широкая защитная полоса потребуется?

Воссоздание различных помеховых сценариев во множестве рабочих диапазонов позволяет разработчикам обнаруживать внутри- и внеполосные паразитные излучения. Известно, что используемые в системах 5G сигналы с модуляцией CP-OFDM имеют большие боковые лепестки в спектре, то есть характеризуются внеполосными излучениями, воздействующими на соседние каналы. Для анализа возможных помех используют спектральные измерения, такие как измерение коэффициента утечки мощности в соседний канал (ACLR) и маски излучаемого спектра (SEM).



Для этих измерений требуются генераторы сигналов и анализаторы сигналов с полосой пропускания больше 1 ГГц.

- Модуль вектора ошибки (EVM) демодулированного сигнала может указывать на хорошие или плохие условия сосуществования сигналов или на наличие помех в измеренном сигнале.
- Демодуляция сигнала, просмотр сигнального созвездия и измерение значения EVM для каждой поднесущей помогают обнаружить влияние помех.
- Коэффициент битовых ошибок (BER) и скорость передачи данных являются дополнительными параметрами, характеризующими качество работы приемника. Изменения BER под воздействием помех позволяют определить требования к защитной полосе между двумя сигналами.

На рис. 2 показаны расположенные рядом результаты измерения демодулированного сигнала, соответствующего 5G NR, и сигнала LTE, отображающие несколько аспектов оценки качества каждого сигнала. Расположив их рядом, разработчики могут просмотреть результаты для каждой несущей и обнаружить взаимосвязи, которые невозможно увидеть другим образом.



Рис 2. Испытательный стенд для формирования и анализа сигналов стандарта 5G NR используется для создания сценария сосуществования 5G и 4G LTE с целью оценки пригодности устройства

Формировать несколько сигналов с помощью нескольких генераторов довольно дорого. С помощью САПР можно создать среду, в которой несколько сигналов объединяются в один сценарий сосуществования, который затем может быть проанализирован с учетом дополнительных искажений или экспортирован в генератор сигналов для воспроизведения в одном канале. Это позволяет создавать алгоритмы тестирования с реальными помехами, такими как интермодуляционные составляющие и паразитные сигналы, сгенерированные внутри и вне устройства.

Работа в совместно используемом спектре

Устройства, работающие в совместно используемом спектре, должны быть способны оценивать своё окружение и изменять поведение в зависимости от политики или правил, установленных для данного спектра. Хотя такие правила еще не определены окончательно, вероятнее всего, коммерческие операторы смогут использовать полосу только в том случае, если ей не пользуются другие претенденты.

Для совместного использования спектра требуются новые методы тестирования, позволяющие удостовериться в том, что базовые станции и абонентские устройства могут правильно обрабатывать новые алгоритмы и обеспечивать соблюдение установленных правил. Радиоинтерфейс или модем могут понадобиться для следующих целей:

- Измерения спектров излучения других передатчиков
- Определение их местоположения
- Настройка поведения устройства, исходя из установленных правил для данного местоположения

Сочетание испытательного стенда с удаленными датчиками позволяет оценивать алгоритмы совместного использования спектра в условиях реальных помех. В данном сценарии спектрограмма захватывается удаленными датчиками и загружается в генератор сигналов произвольной формы (AWG) для воссоздания реальной радиоэлектронной обстановки (РЭО) в условиях лаборатории. Подав составной сигнал AWG на испытуемое устройство (ИУ), можно проанализировать реакцию ИУ на РЭО. Сформированный таким образом сигнал также можно загрузить в программную модель для постобработки и определения коэффициентов битовых ошибок (BER) и ошибочных блоков (BLER). Схема измерений для определения и тестирования алгоритмов совместного использования спектра показана на рис. 3.

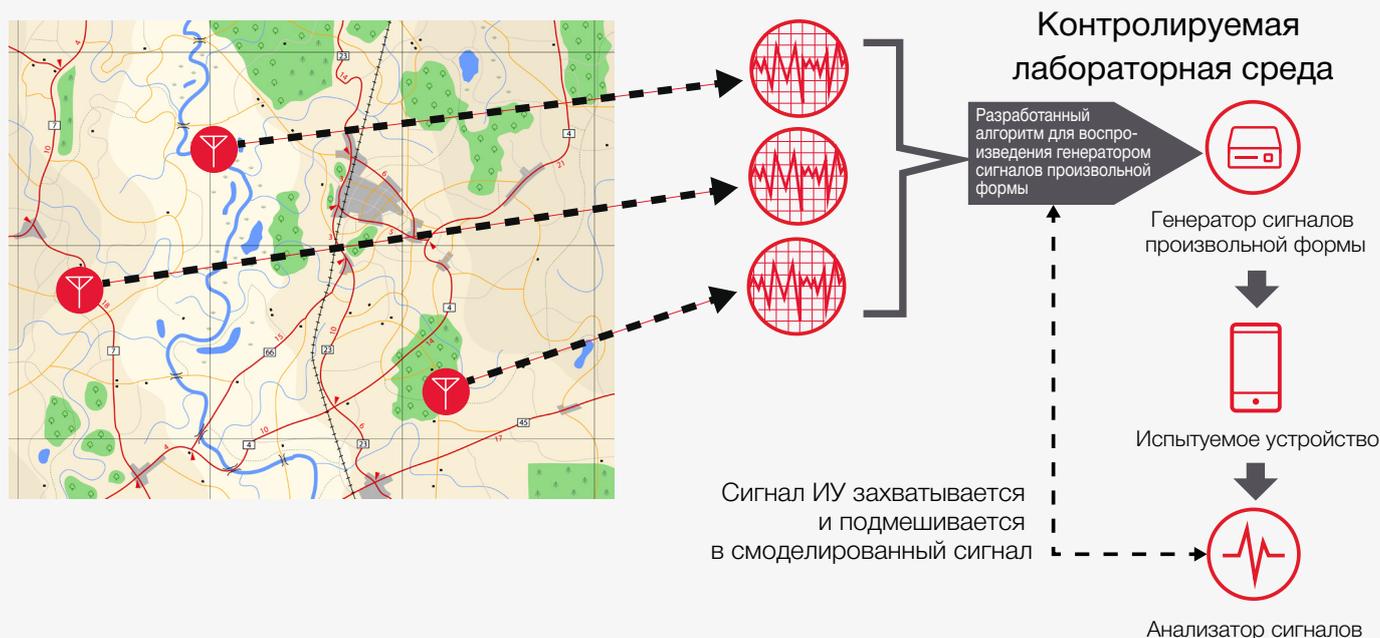


Рис. 3. Использование ВЧ-датчиков в сценарии с анализом реальной РЭО

В полевых условиях перед началом передачи устройство должно быть способно обнаружить другие передатчики в данном диапазоне. Устройство нужно определить их местоположение, ширину полосы сигнала и в некоторых случаях прекратить передачу, если в эфир выходит пользователь с более высоким приоритетом. Использование сетевого эмулятора позволяет протестировать различные сценарии, чтобы обеспечить правильное поведение устройства и управление им в соответствии с его конструктивными особенностями.

Используя данные реальной РЭО в контролируемой лабораторной среде для воспроизводимых измерений в ходе исследований и проектирования, можно заранее выявить и устранить потенциальные проблемы, ускорить разработку и протестировать прототипы до испытаний в полевой обстановке.

Заключение

Сети 5G должны сосуществовать с сетями 4G, Wi-Fi и другими гражданскими и военными системами связи. Но обеспечение такого сосуществования вызывает множество новых проблем. Разработчики должны обеспечить максимально эффективную работу своих устройств, которые при этом не будут создавать помех другим устройствам. Совместное использование спектра вызывает потребность в сложных алгоритмах обнаружения и контроля других его пользователей.

Необходимы инструменты, позволяющие исследовать сценарии сосуществования с сигналами 5G с разной шириной полосы, частотой, а также при изменении условий в канале. Гибкие и масштабируемые решения Keysight для разработки и испытаний устройств 5G позволяют с высокой точностью имитировать, формировать и анализировать широкополосные сигналы, начиная с диапазона до 6 ГГц и заканчивая миллиметровыми волнами. Интегрируя в измерительный стенд данные реальной РЭО, можно выявлять и анализировать проблемы в лабораторных условиях, что позволяет ускорить разработку устройств 5G.

Посетите **раздел сайта Keysight, посвященный 5G**, чтобы получить новейшую информацию о стандартах, технологиях и передовых методиках тестирования. Загрузите руководства, рекомендации по применению, практические примеры и другие документы.

Подробную информацию вы найдете
на нашем сайте www.keysight.com.

Для получения дополнительных сведений о продукции, приложениях и услугах Keysight Technologies обратитесь в местное представительство компании Keysight. Полный перечень представительств приведен по ссылке www.keysight.com/find/contactus

