

# ДИНАМИЧЕСКОЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА DSS

**ДМИТРИЙ КОПЫЛОВ**, инженер

*В статье описаны принцип и преимущества технологии динамического перераспределения частотного спектра. Рассмотрены перспективы ее применения в сетях 5G. Особое внимание уделено вопросу синхронизации.*

Технологии динамического перераспределения частотного спектра DSS (dynamic spectrum sharing) могут принести большую выгоду операторам мобильных сетей, открыв путь к сетям 5G без реорганизации спектра LTE или покупки спектра 5G. Применение технологии DSS возможно с помощью программного обновления на существующих базовых станциях.

Суть концепции 5G заключается в обеспечении одной сети для поддержки разных сценариев, к которым относится расширенная мобильная широкополосная связь (enhanced mobile broadband, eMBB), массовые машинные коммуникации (massive machine-type communications, mMTC) и предоставление высоконадежного соединения с очень низкой задержкой передачи данных (ultra-reliable ultra-low latency communications, URLLC). В этих сценариях используются разные динамические диапазоны:

- низкие частоты для широкомаштабных сетей;
- средние частоты для расширения емкости сети;
- высокие частоты для обеспечения предельной емкости.

Однако в большинстве сетей 5G используются только средние и высокие частоты, и сервисы 5G соперничают друг с другом за доступ в городской среде, а также за возможность работать внутри помещений без использования низких частот.

Развертываемые в настоящее время сети 5G в первом частотном диапазоне (frequency range 1, FR1) работают в полосе 3,5 ГГц, хотя иногда частоты гораздо ниже – около 700 МГц.

Некоторые операторы свернули старые сети и реорганизовали освободившиеся частоты под LTE, однако многие компании все еще обслуживают сети 2G и 3G для работы с устаревшей техникой, а также голосовые и коммутируемые сети. В результате возникает нехватка спектра для развертывания 5G на этих

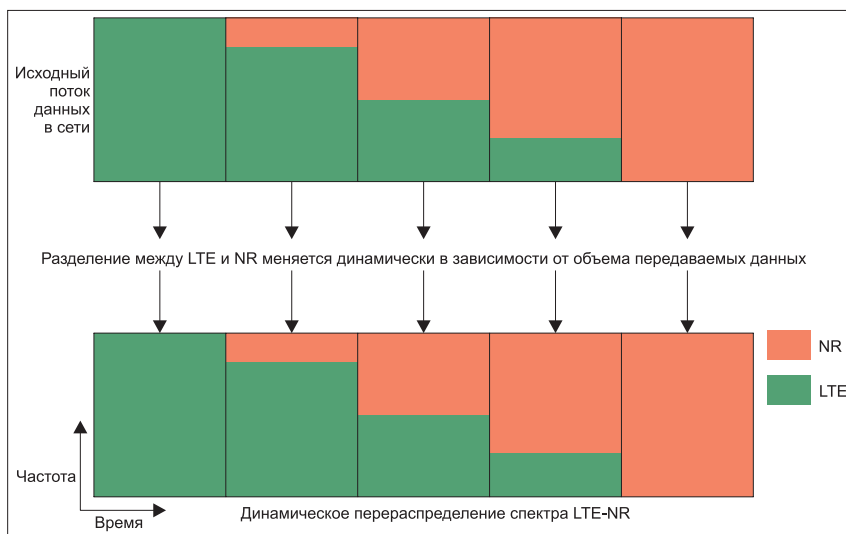


Рис. 1. Концепция динамического перераспределения частотного спектра, обеспечивающая совместную работу сетей LTE и NR

частотах. Реорганизация спектра LTE под технологию радиодоступа для сетей подвижной связи 5-го поколения (new radio, 5G NR) не является целесообразной, поскольку большая часть потока данных в ближайшие годы пойдет по LTE. С этой точки зрения технология DSS является очень перспективной, т.к. она позволяет разворачивать сети 5G в существующих полосах 4G без реорганизации несущих и с минимальным влиянием на используемые в настоящее время сервисы.

Технология DSS обеспечивает одновременную работу сетей LTE и NR на одной несущей. При этом устройства LTE и NR имеют доступ к полной полосе пропускания. Ресурсы распределяются динамически между двумя передатчиками в соответствии с запросами и во временной, и в частотной области. Операторы связи могут подстроить запросы по трафику. Кроме того, технология DSS реализуется с помощью обновления программного обеспечения. Несмотря на усложнение процедуры планирования задач, перечисленные преимущества выгодно отличают технологию DSS от других (см. рис. 1).

## РЕАЛИЗАЦИЯ DSS

Обратная совместимость является фундаментальным свойством технологии DSS. Поскольку в настоящее время используется большое количество устройств LTE, желательно избежать в них изменений. Соответственно, устройства NR должны быть адаптированы для совместного использования спектра.

При передаче LTE поднесущие разносят на интервалы 15 кГц, а в NR используются интервалы 15 или 30 кГц. Изначально в DSS также использовались интервалы 15 кГц. Сигналы NR ортогональны сигналам LTE при разнесении поднесущих на 15 кГц, поскольку используется одна и та же частотно-временная область. При интервалах 30 кГц этого не происходит, хотя сети по-прежнему используют одни и те же частотно-временные ресурсы с точки зрения сети. Оборудование пользователя декодирует комбинированную передачу по LTE и NR; при этом устаревшие устройства LTE декодируют сигнал LTE, а устройства NR – сигнал NR. Устройство, поддерживающее оба стандарта, должно одновременно декодировать оба сигнала.

При разнесении поднесущих на 30 кГц NR занимает в два раза больше частот, чем полоса пропускания, но в течение половины длительности во временной области. Из-за смешанных численных данных возникает интерференция, и ортогональность нарушается. Во избежание помех используются защитные интервалы в частотной области. Для разделения двух потоков во временной области применяется мультиплексирование по времени (см. рис. 2).

На физическом уровне в DSS применяются два подхода:

- согласование скоростей;
- одночастотные сети многоадресной широкополосной передачи (multicast broadcast single frequency network, MBSFN).

Согласование скоростей подразумевает использование ресурсных элементов, которые передают постоянно включенный сигнал LTE. Это распространенный подход для передачи NR с разнесением несущих на 15 кГц. Подкадры MBSFN часто применяются при передаче синхроблоков в сетях NR, а также для передачи данных в сетях NR с разнесением поднесущих на 30 кГц. Они могут использоваться и для других целей, например для передачи периодических сигналов.

Согласование скоростей используется в NR на физическом уровне для передачи по общему каналу в нисходящем направлении (PDSCH) по образцу, определенному в стандартах 3GPP (см. табл.). При этом опорный демодулирующий сигнал (DMRS) не согласован по скорости. Оборудование пользователя имеет информацию о том, в каких ресурсных

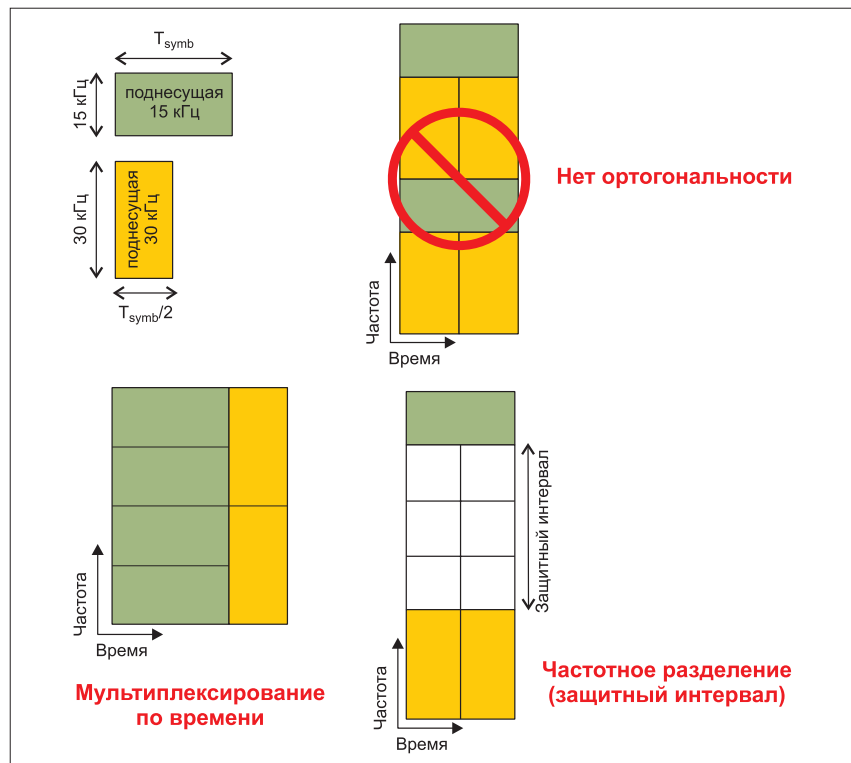


Рис. 2. Использование защитного интервала или временного мультиплексирования для предотвращения интерференции в системах DSS 5G NR с разнесением поднесущих на 30 кГц

Таблица. Формат передачи информации согласно требованиям 3GPP TS 38.214 и TS 38.331

Шаблон согласования скоростей LTE-CRS	Описание
Частота несущей при нисходящей передаче	0–16383
Полоса несущей при нисходящей передаче	n6, n15, n25, n50, n75, n100
Список настроек подкадра MBSFN	1–8 фрагментов описания EUTRA-MBSFN-SubframeConfig
Количество входов CRS	n1, n2, n4
Значение v-Shift	n0, n1, n2, n3, n4, n5

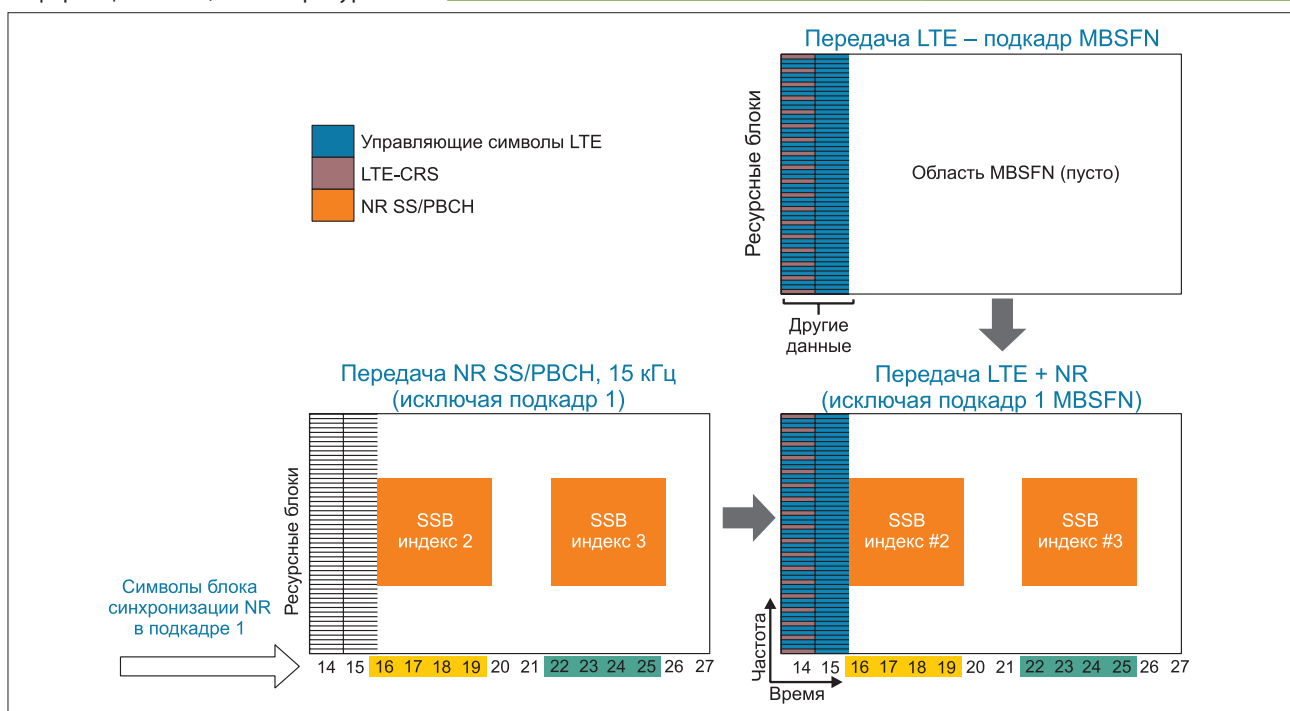


Рис. 3. Подкадр MBSFN для передачи сигнала синхронизации DSS

элементах содержится опорный сигнал ячейки сети LTE (cell-specific reference signal, CRS), и оно игнорирует эти элементы при декодировании NR PDSCCH.

Несущие частоты и информация о полосе пропускания могут сосуществовать в LTE-канале. Конфигурационный подкадр LTE и MBSFN содержит информацию о подкадрах LTE, настроенных как MBSFN. Это влияет на набор символов OFDM, в которых передается опорный сигнал CRS. Количество антенных входов LTE CRS также влияет на количество символов OFDM, которые содержат CRS, и ресурсные элементы в частотной области. Параметр  $v$ -Shift обеспечивает точное расположение сигнала LTE CRS в частотной области. Шаблон согласования скоростей в 5G Release 15 предусматривает сети LTE с одной несущей, и перераспределение частотного спектра DSS может выполняться только в рамках одной несущей, что ограничивает полосу NR 20 МГц.

При согласовании сигнала синхронизации и физического канала вещания (synchronization signal/physical broadcast channel) интервал разнесения поднесущих зависит от рабочей полосы NR. На частотах FR1, в основном, используются интервалы 15 кГц, но из-за коллизий не представляется возможным задействовать обычные подкадры LTE – приходится применять MBSFN. В подкадре MBSFN уместается до двух сигналов синхронизации SSB, потому что в нем не осуществляется передача CRS. Однако не все сигналы синхронизации можно разместить в рамках одного подкадра MBSFN, поскольку расположение SSB фиксировано по времени.

Таким образом, для передачи DSS имеют значение не только согласование скоростей, но и подкадры MBSFN. Один подход используется для передачи данных, другой – для передачи синхронизирующего сигнала SSB (см. рис. 3).

Что касается управляющего физического канала передачи в нисходящем направлении в NR (physical downlink control channel, PDCCH), то в нем недопустимы коллизии между опорным сигналом LTE и управляющими каналами. Символ 2 представляет собой первый символ, который можно использовать для передачи NR PDCCH из-за наличия управляющего домена LTE и в подкадре LTE, и в подкадре MBSFN. Однако сети 5G позволяют передавать PDCCH в любом символе, который не накладывается на LTE CRS.

В восходящем направлении для DSS проводится смещение половины поднесущей, т.е. для LTE это значение составляет 7,5 кГц, поскольку необходимо избежать поднесущей нулевой частоты (DC subcarrier). Однако в NR по-прежнему используется эта поднесущая для передачи в восходящем направлении, т.к. не все оборудование NR поддерживает смещение несущей. Это нарушение ортогональности LTE и NR исправлено в новой версии NR (см. рис. 4).

#### СИНХРОНИЗАЦИЯ И ОШИБКИ DSS

Одним из ключевых аспектов при измерении параметров DSS является синхронизация в системах 4G и 5G. Они должны работать синхронно и в частотной, и во временной области, иначе блоки рассогласуются. Во-вторых, необходима высокая скорость координации

между планировщиками пакетов LTE и NR для динамического перераспределения ресурсов. Следует избегать использования одних и тех же ресурсов, чтобы не произошло ошибки при дешифрации в оборудовании пользователя.

Заметим, что DSS добавляет альтернативные точки опорного демодулирующего сигнала DMRS при передаче в нисходящем канале (DSCH): DMRS переносится с символа 11 на символ 12, чтобы избежать коллизий с последовательностью LTE CRS, которая содержится в символе 11. Во избежание ошибок терминал пользователя должен оповестить сеть, что он поддерживает использование символа 12 для DMRS. С точки зрения проведения измерений синхронизации между системами LTE и NR является основополагающим фактором. Выборка сигналов и измерения в лабораторных условиях должны осуществляться строго в одни и те же моменты времени. Далее проводятся испытания в реальных условиях.

При испытаниях передатчика DSS следует удостовериться, что сигналы LTE и NR можно отделить от объединенного сигнала. Важно также проверить работоспособность существующих устройств LTE. Наконец, необходимо удостовериться, что передача SS/PBCH в подкадрах MBSFN проводится успешно и согласование скоростей в NR PDSCCH выполнено корректно. Проверка величины вектора ошибки (error vector magnitude, EVM) и циклическая проверка избыточности (cyclic redundancy check, CRC) позволяют судить о качестве физического уровня передачи.

#### ОСОБЕННОСТИ DSS 3GPP RELEASE 16

Хотя использование динамического перераспределения частотного спектра DSS предполагает некоторые сложности, оно обеспечивает серьезные преимущества в использовании имеющегося спектра. Обратная совместимость с существующими устройствами LTE гарантирует, что пользователи LTE не столкнутся с ухудшением качества предоставления услуг.

Стандарты 3GPP продолжают развиваться. В Release 16 будет оптимизировано использование ресурсов для DSS. Длина NR PDSCCH Type B увеличится с 7 до 9 или 10 символов, шаблоны DMRS предотвратят коллизии с символами, содержащими LTE-CRS. Принципы согласования скоростей LTE-CRS будут применимы к нескольким несущим LTE, что позволит проводить широкополосную передачу 5G NR с наложением на несущие LTE. Это делает принцип динамического перераспределения частотного спектра еще более перспективным. ◀

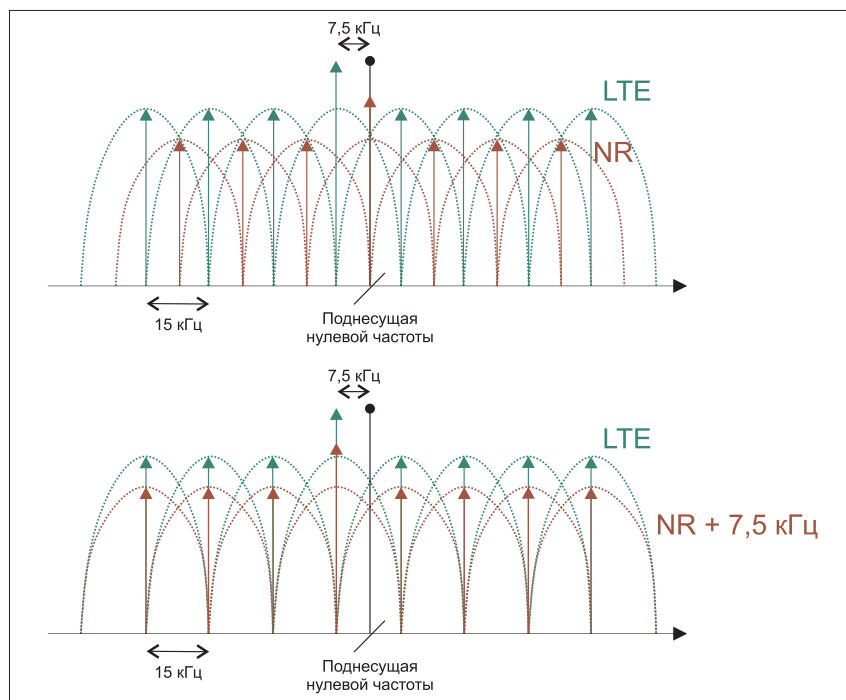


Рис. 4. Новая версия NR подразумевает смещение на 7,5 кГц при передаче в восходящем направлении