

# 11. LTE

## 11.1. 4G. Тренды и перспективы

Изначально МСЭ объявил, что стандартом 4-го поколения может называться стандарт, обеспечивающий скорость передачи данных по линии «вниз» не менее 1Гб/с, в связи с чем стандарт LTE называли стандартом 3,9G, поскольку максимально достижимая скорость передачи данных в нем составляет 100 Мбит/с. Истинным стандартом 4-го поколения МСЭ сначала признал исключительно стандарт LTE-Advanced, в котором достигается максимальная скорость передачи данных 1 Гбит/с. Тем не менее, вскоре МСЭ поменял позицию, признав стандарт LTE стандартом четвертого поколения.

На рис. 11.1 представлена эволюция сетей мобильной связи, на которой видно, что все технологии сходятся в одну точку, которой является технология LTE.

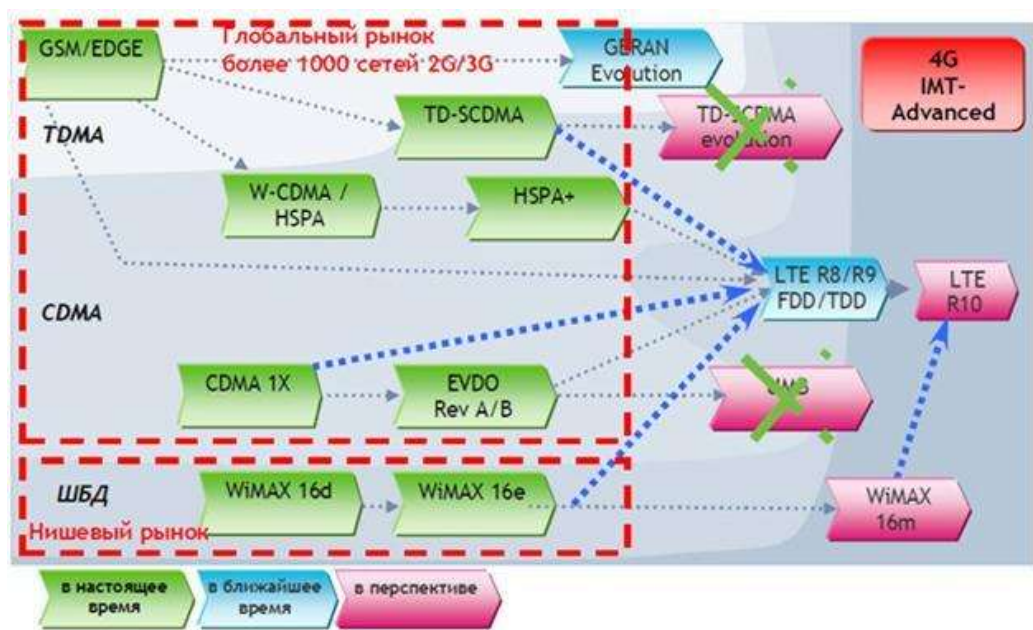


Рис. 11.1. Эволюция сетей мобильной связи

## 11.2. Частотные диапазоны

Глобальное распределение частотных ресурсов между технологиями приведено на рис. 11.2. Технология LTE может работать в большем количестве частотных диапазонов, чем другие технологии мобильной связи.

	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	400 450 500 550 600 650 680 700 750 800 850 900 950 1000 1100 1150 1200 1250 1300 1350 1400 1450 1500 1550 1600 1650 1700 1750 1800 1850 1900 1950 2000 2050 2100 2150 2200 2250 2300 2350 2400 2450 2500 2550 2600 2650 2700 2750 2800 2850 2900 2950 3000 3050 3100 3150 3200 3250 3300 3350 3400 3450 3500 3550 3600 3650 3700 3750 3800 3850 3900 4000	450 700 800 850 900 1500 1700 1800 1900 2100 2300 2500 2700 2900 3100 3300 3500 3700																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														

Рис. 11.2. Глобальное распределение частот между технологиями

Диапазоны частот для LTE и LTE-A представлены в табл. 11.1 и табл. 11.2

Табл. 11.1. Диапазоны частот LTE

Номер диапазона	Линия «вверх» (UL) (приемник БС / передатчик МС)	Линия «вниз» (DL) (передатчик БС / приемник МС)	Режим
1	1920...1980	2110...2170	FDD
2	1850...1910	1930...1990	FDD
3	1710...1785	1805...1880	FDD
4	1710...1755	2110...2155	FDD
5	824...849	869...894	FDD
6*	830...840	875...885	FDD
7	2500...2570	2620...2690	FDD
8	880...915	925...960	FDD
9	1749,9...1784,9	1844,9...1879,9	FDD
10	1710...1770	2110...2170	FDD
11	1427,9...1452,9	1475,9...1500,9	FDD
12	698...716	728...746	FDD
13	777...787	746...756	FDD
14	788...798	758...768	FDD
15	Зарезервирован	Зарезервирован	FDD
16	Зарезервирован	Зарезервирован	FDD
17	704...716	734...746	FDD
18	815...830	860...875	FDD
19	830...845	875...890	FDD
...	...	...	...
33	1900...1920		TDD
34	2010...2025		TDD
35	1850...1910		TDD
36	1930...1990		TDD
37	1910...1930		TDD
38	2570...2620		TDD
39	1880...1920		TDD
40	2300...2400		TDD

\* Диапазон 6 пока не применяется; БС — базовая станция; МС — мобильная станция.

Табл. 11.2. Диапазоны частот LTE-A

Номер диапазона	Линия «вверх» (UL) (приемник БС / передатчик МС)	Линия «вниз» (DL) (передатчик БС / приемник МС)	Режим
1	1920...1980	2110...2170	FDD
2	1850...1910	1930...1990	FDD
3	1710...1785	1805...1880	FDD
4	1710...1755	2110...2155	FDD
5	824...849	869...894	FDD
6	830...840	865...875	FDD
7	2500...2570	2620...2690	FDD
8	880...915	925...960	FDD
9	1749,9...1784,9	1844,9...1879,9	FDD
10	1710...1770	2110...2170	FDD
11	1427,9...1447,9	1475,9...1495,9	FDD
12	698...716	728...746	FDD
13	777...787	746...756	FDD
14	788...798	758...768	FDD
15	Зарезервирован	Зарезервирован	-
16	Зарезервирован	Зарезервирован	-
17	704...716	734...746	FDD
18	815...830	860...875	FDD
19	830...845	875...890	FDD
20	832...862	791...821	FDD
21	1447,9...1462,9	1495,9...1510,9	FDD
22	3410...3500	3510...3600	FDD
...	...	...	...
33	1900...1920		TDD
34	2010...2025		TDD
35	1850...1910		TDD
36	1930...1990		TDD
37	1910...1930		TDD
38	2570...2620		TDD
39	1880...1920		TDD
40	2300...2400		TDD
41	3400...3600		TDD

← FDD/TDD

← FDD/TDD

Примечание. Частотные диапазоны в таблице могут быть изменены по результатам исследований 3GPP и ITU-R

### 11.3. Переход к 4G или роль скорости мобильного интернета

Рассмотрим вопрос: "насколько важна скорость мобильного Интернета?", поскольку основная причина перехода к 4G основывается именно на увеличении скорости.

Многие знают, что мобильный трафик растет экспоненциально, а, по мнению Cisco, к 2018 году весь объем потребляемого трафика составит 15.9 Эксабайт.

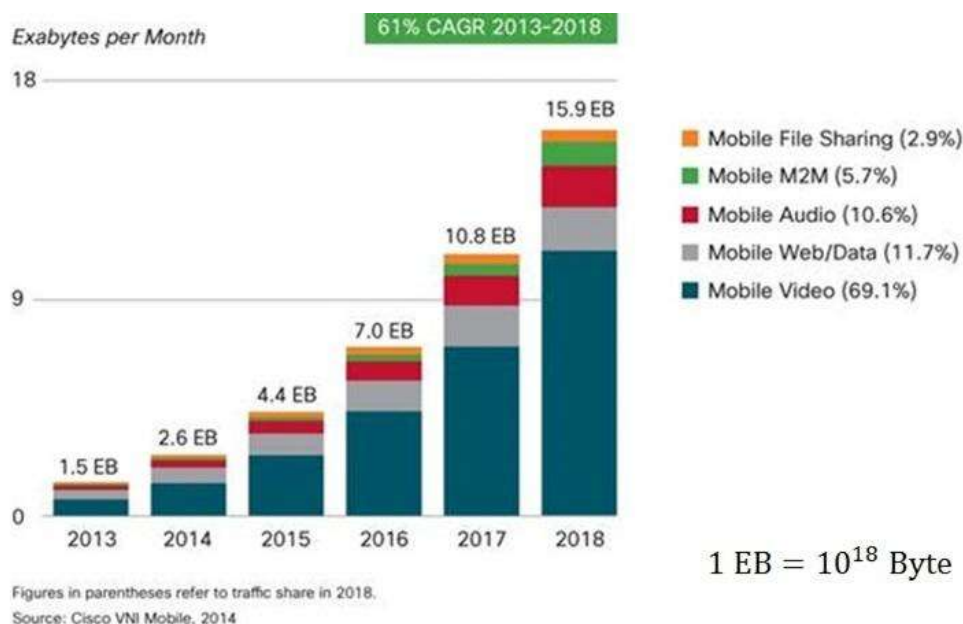


Рис. 11.3. Рост мобильного трафика

Причины такого роста в следующем:

- рост количества мобильных устройств;
- разнообразие контента, в т.ч. "тяжелого";
- желание всегда быть в курсе новостей;
- просмотр HD-видео.

#### Какие проблемы возникают при малой скорости Интернета?

При воспроизведении видео и аудио происходит буферизация, т.е. сначала часть видео или аудио загружаются в буфер, и после этого мы можем его воспроизвести. При малых скоростях буферизация проходит медленно, и поэтому ролик будет воспроизводиться отрывками. Есть два выхода: либо поставить на паузу, либо понизить качество (если это возможно), но в случае потокового вещания паузы нет, и остается только второй вариант (понизить качество), причем мы потеряем часть информации, так как это вещание в режиме онлайн.

В случае передачи данных возьмем в пример программу Skype. Тогда при малых скоростях Интернета может происходить ухудшение качества связи (то есть ухудшается разборчивость голоса и качество видео, если используется видеосвязь). Могут также возникать пропадания и разрывы соединения. Если что-то загружаете из Интернета, например из Play Маркета, то скорость определяет время ожидания до загрузки файла.

Кроме скорости Интернета, следует учитывать пинг, который показывает задержку пакетов данных. В сетях 3G задержка составляет от 80 и более миллисекунд. Для онлайн игр задержка выше 100 миллисекунд становится заметной: начинаются подтормаживания, все начинает дергаться и играть становится очень трудно. С помощью технологии HSPA+ в сетях 3G удалось существенно увеличить скорость и уменьшить задержки. Пинг с HSPA+ составляет примерно 60 мс. В 4G базовые станции получили возможность выполнять функцию маршрутизации трафика, и контроллер, который вносил задержку, стал не нужен. Благодаря этому пинг ниже, чем в сетях 3G.



Подведем итог. Имея высокую скорость можно:

- смотреть видео и слушать музыку без пауз и в хорошем качестве;
- улучшить качество голосовой и видео связи;
- уменьшить время ожидания до загрузки файла.

Иными словами скорость Интернета играет важную роль и позволяет более широко пользоваться всеми возможностями мобильного устройства.

#### 11.4. Физический уровень сетей LTE

##### Канальный ресурс и его характеристики

На физическом уровне (на участке между UE и eNodeB) в стандарте LTE применяют технологию OFDM (англ. Orthogonal frequency-division multiplexing — мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов) с модуляцией 4-ФМ, 16-КАМ и 64-КАМ. При этом максимальное количество поднесущих частот в рабочей полосе может быть равно 2048.

С целью достижения взаимной синхронизации E-UTRA и UTRA применяют тактирование с длительностью временной единицы  $T_s = 1/(15000 \times 2048)$  с. Передача по радиоканалу производится кадрами длительностью 10 мс, что равно  $307200 T_s$ . Структуры кадров подразделяются на 2 типа:

- с частотным дуплексом (FDD);
- с временным дуплексом (TDD).

Структура кадра частотным дуплексом приведена на рис. 11.4. Кадр включает 20 временных слотов длительностью  $15360 \times T_s = 0,5$  мс, пронумерованных от 0 до 19. Два последовательных слота представляют собой 1 субкадр. Всего субкадров – 10, от 0 до 9 (рис. 11.5).

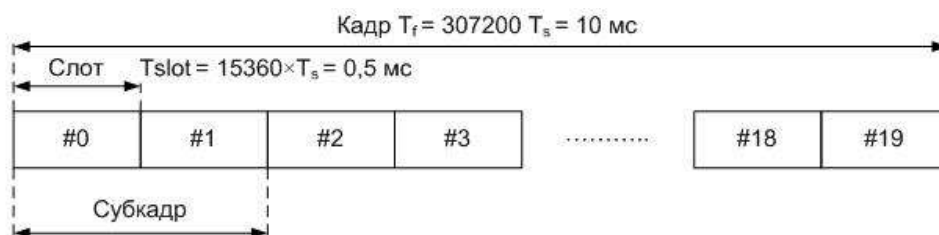


Рис. 11.4. Структура кадра при частотном дуплексе



Рис. 11.5. Конфигурация кадра при частотном дуплексе

Структура кадра при временном дуплексе приведена на рис. 11.6.

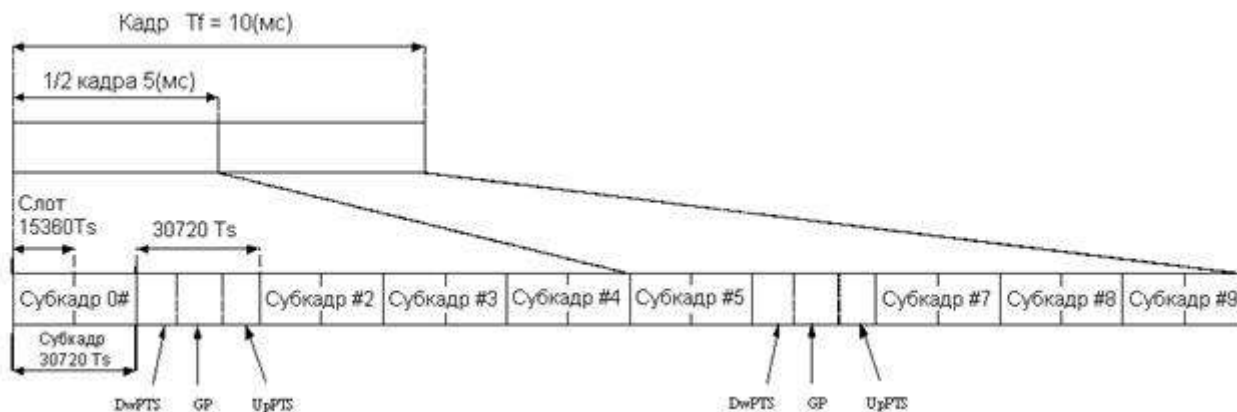


Рис. 11.6. Структура кадра при временном дуплексе

Кадр длиной 10 мс также включает 10 субкадров длиной 1 мс, но в отличие от рис. 11.2 в некоторых субкадрах происходит передача вниз (D), в других – вверх (U); помимо этого есть специальные субкадры (S), в состав которых входит три поля: UpPTS – поля передачи вверх, DwPTS – поля передачи вниз, и GP – защитного интервала. Всего при временном дуплексе возможно 7 конфигураций кадров (табл. 11.3).

Табл. 11.3. Конфигурации кадров при временном дуплексе

Конфигурация вверх-вниз	Периодичность вверх-вниз	Номер субкадра									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5 мс	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5 мс	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5 мс	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10 мс	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10 мс	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10 мс	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5 мс	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

Поскольку между поднесущими расстояние составляет  $\Delta F = 15 \text{ кГц}$ , длина OFDM-символа равна  $1/\Delta F \approx 66,7 \text{ мкс}$ . Половина субкадра (слот длительностью 0,5 мс) состоит из 6 или 7 OFDM-символов в зависимости от величины циклического префикса CP (cyclic prefix) и активной паузы между символами. Значение циклического префикса  $T_{CP}$  равно  $160T_s \approx 5,2 \text{ мкс}$  перед первым символом и  $144T_s \approx 4,7 \text{ мкс}$  – перед остальными символами. Возможен также вариант применения расширенного CP, равного  $512T_s \approx 16,7 \text{ мкс}$ . В случае, приведенном на рис. 11.7, в один субкадр входит 7-OFDM символов при нормальном CP и 6-OFDM символов при расширенном CP.

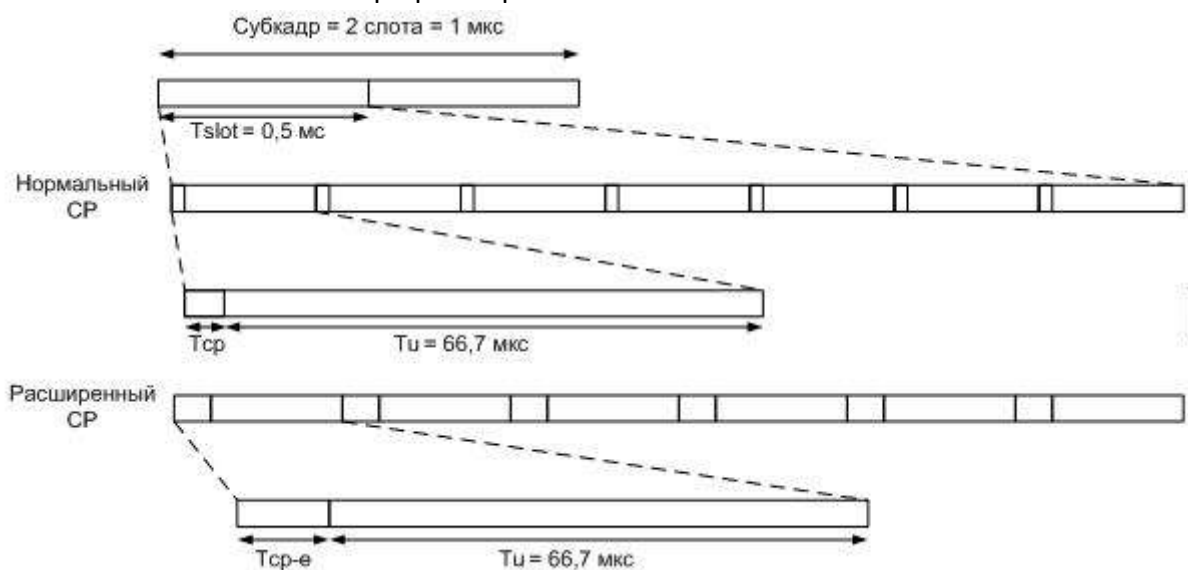


Рис. 11.7. Структура слота на физическом уровне

Существующий каналный ресурс состоит из **ресурсных блоков (РБ)**, каждый из которых включает 12 расположенных рядом поднесущих, занимающих полосу 180 кГц и одного временного слота (7 или 6 OFDM-символов на интервале 0,5 мс). Каждый OFDM-символ представляет собой **ресурсный элемент (РЭ)**, параметрами которого являются 2 значения:  $\{k, l\}$ , где  $k$  указывает на номер поднесущей, а  $l$  – номер символа в ресурсном блоке. Во время передачи по линии «вниз» (от базовой станции к абонентской) в каждом блоке из  $12 \times 7 = 84$  ресурсных элементов, некоторые из которых применяют для отправки опорных (reference) символов (рис. 11.8). Выделяемый каналный ресурс определяют количеством ресурсных блоков или групп ресурсных блоков.

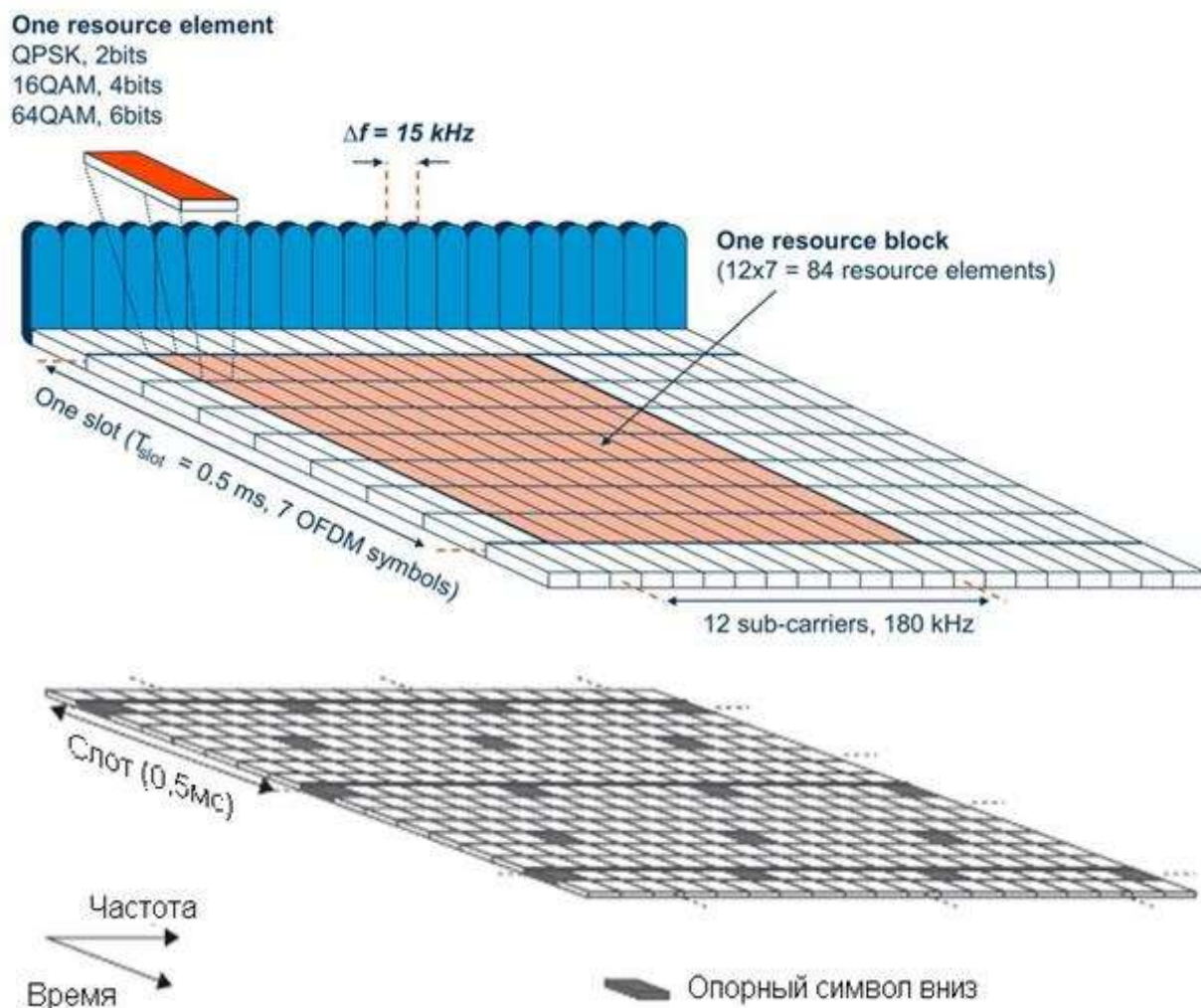


Рис. 11.8. Структура ресурсного блока при передаче вниз

Следует учитывать, что скорость передачи сокращается, поскольку часть ресурса занимают опорные символы и управляющие каналы. Опорные символы используют для реализации когерентной демодуляции и оценки каналов. Во время передачи по линии «вниз» на базовой станции могут функционировать до 4-х антенн. При этом каждой антенне выделены фиксированные ресурсные элементы для передачи опорных символов. Рис. 11.9. поясняет расположение опорных символов в ресурсном блоке, где символами, помеченными R0, являются символы, передаваемые антенной 0, символы R1 – антенной 1, R2 – антенной 2, R3 – антенной 3. Уменьшение пропускной способности ресурсного блока (в процентном отношении) вследствие передачи опорных символов приведено в табл. 11.4.

Табл. 11.4. Уменьшение пропускной способности ресурсного блока

	Normal CP	Extended CP
1 перед. антенна	4,76	5,56
2 перед. антенны	9,52	11,11
4 перед. антенны	14,29	15,87

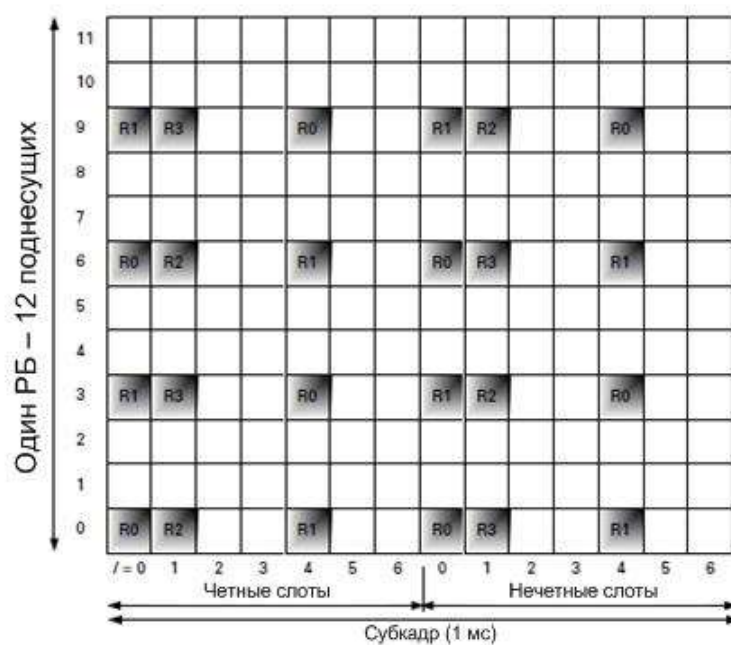


Рис. 11.9. Расположение опорных символов в ресурсном блоке во время передачи по линии «вниз»

Канальный ресурс по линии «вверх» выделяют также ресурсными блоками (12 поднесущих общей полосой 180 кГц в слоте), и субкадрами длительностью 1 мс с 7 или 6 OFDM-символами в каждом слоте. Пример распределения канального ресурса между разными абонентами (User) приведен на рис. 11.10.

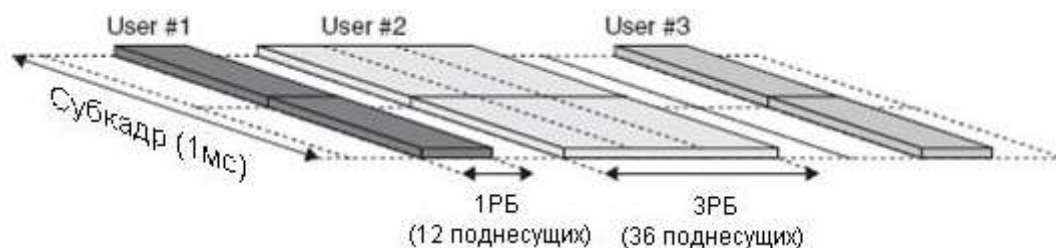


Рис. 11.10. Распределение канального ресурса вверх

Во время передачи по линии «вверх» применяют измененную технологию OFDM, а фактически производят передачу широкополосного сигнала на одной несущей. Задачей данного метода является уменьшение пик-фактора передаваемого сигнала, т.к. большой пик-фактор – это значительный «минус» технологии OFDM. В связи с этим до формирования сигнала OFDM производят прямое быстрое (дискретное) преобразование Фурье передаваемого сигнала (БПФ), в затем переходят к OFDM (рис. 11.11). Данная технология называется БПФ-OFDM или SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access).

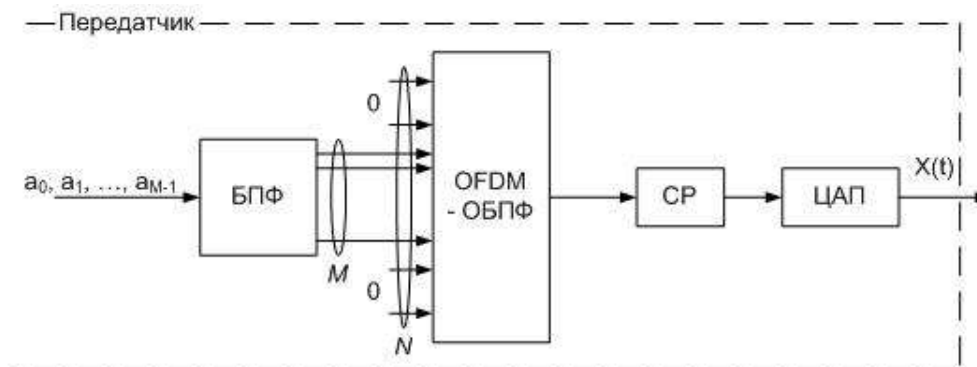


Рис. 11.11. Формирование сигнала БПФ-OFDM

## Многоантенные технологии (MIMO) в LTE

Применение технологий MIMO (multiple input – multiple output) решает две задачи:

- увеличение качества связи за счет пространственного временного/ частотного кодирования и (или) формирования лучей (beamforming),
- повышение скорости передачи при применении пространственного мультиплексирования.

В различных реализациях MIMO имеется ввиду одновременная передача в одном физическом канале нескольких независимых сообщений. С целью реализации действия MIMO применяют многоантенные системы: на передающей стороне имеется  $N_t$  передающих антенн, а на приемной стороне  $N_r$  приемных. Данная структура приведена на рис. 11.12.

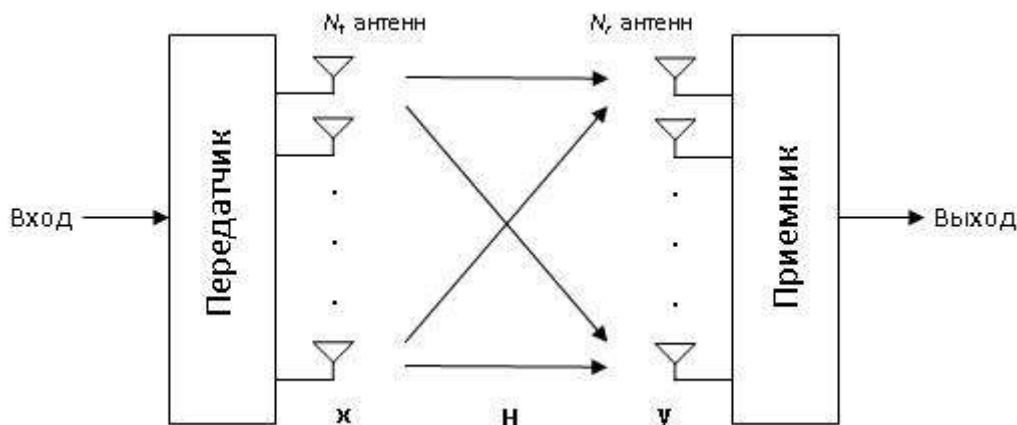


Рис. 11.12. MIMO структура

MIMO (англ. *Multiple Input Multiple Output*) - метод пространственного кодирования сигнала, позволяющий увеличить полосу пропускания канала, при котором передача данных осуществляется с помощью  $N$  антенн и их приёма  $M$  антеннами. Передающие и приёмные антенны разнесены настолько, чтобы достичь слабой корреляции между соседними антеннами.

История систем MIMO как объекта беспроводной связи пока весьма не продолжительна. Первый патент на использование MIMO-принципа в радиосвязи был зарегистрирован в 1984 году от имени сотрудника Bell Laboratories Джека Винтерса (Jack Winters). Основываясь на его исследованиях, Джек Селз (Jack Salz) из той же компании опубликовал в 1985 году первую статью по MIMO-решениям. Развитие данного направления продолжалось специалистами Bell Laboratories и другими исследователями вплоть до 1995 года. В 1996 году Грэг Ралей (Greg Raleigh) и Джеральд Дж. Фошини (Gerald J. Foschini) предложили новый вариант реализации MIMO-системы, увеличив тем самым ее эффективность. Впоследствии Грэг Ралей, которому присваивают авторство OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* – мультиплексирование посредством ортогональных несущих) для MIMO, основал компанию Airgo Networks, которая разработала первый MIMO-чипсет под названием True MIMO.

Однако, несмотря на довольно короткий промежуток времени с момента своего появления, MIMO-направление развивается весьма многопланово и включает в себя разнородное семейство методов, которые можно классифицировать по принципу разделения сигналов в приемном устройстве. При этом в MIMO-системах используются как уже вошедшие в практику подходы к разделению сигналов, так и новые. К ним относятся, например, пространственно-временное, пространственно-частотное, пространственно-поляризационное кодирование, а также сверхразрешение по направлению прихода сигнала в приемник. Благодаря обилию подходов к разделению сигналов удалось обеспечить столь долгую разработку стандартов на использование систем MIMO в средствах связи. Однако все разновидности MIMO направлены на достижение одной цели – увеличение пиковой скорости передачи данных в сетях связи за счет улучшения помехоустойчивости.



Простейшая антенна MIMO – это система из двух несимметричных вибраторов (монопольей), ориентированных под углом  $\pm 45^\circ$  относительно вертикальной оси (рис. 11.13).



Рис. 11.13. Простейшая антенна MIMO

Такой угол поляризации позволяет каналам находиться в равных условиях, поскольку при горизонтально-вертикальной ориентации излучателей одна из поляризационных составляющих неизбежно получила бы большее затухание при распространении вдоль земной поверхности. Сигналы, излучаемые независимо каждым монополем, поляризованы взаимно ортогонально с достаточно высокой взаимной развязкой по кросс-поляризационной составляющей (не менее 20 дБ). Аналогичная антенна используется и на приемной стороне. Такой подход позволяет одновременно передавать сигналы с одинаковыми несущими, модулированными различным образом. Принцип поляризационного разделения обеспечивает удвоение пропускной способности линии радиосвязи по сравнению со случаем одиночного монополя (в идеальных условиях прямой видимости при идентичной ориентации приемных и передающих антенн). Таким образом, по сути, любую систему с двойной поляризацией можно считать системой MIMO.

К тому моменту, когда технология MIMO была специфицирована в релизе 7, шло активное распространение по миру стандарта 3G. Были попытки совместить сети третьего поколения с технологией MIMO, но широкого распространения не получили. По данным Глобальной Ассоциации Поставщиков Мобильного Оборудования (GSA) от 04.11.2010 на тот момент из 2776 типов устройств с поддержкой HSPA, представленных на рынке, только 28 моделей поддерживают MIMO. К тому же внедрение MIMO сети с низким проникновением MIMO-терминалов приводит к снижению пропускной способности сети. Компания Nokia Siemens Networks разработала технологию для минимизации потерь пропускной способности, но она показала бы свою эффективность только в том случае, когда проникновение MIMO-терминалов составило бы не менее 40% абонентских устройств. Добавляя к выше сказанному, стоит напомнить, что 14 декабря 2009 года состоялся запуск первой в мире мобильной сети на базе технологии LTE, которая позволяла достичь гораздо более высоких скоростей. Исходя из этого видно, что операторы были нацелены на скорейшее развертывание сетей LTE, нежели на модернизацию сетей третьего поколения.

На сегодняшний день можно отметить бурный рост объема трафика в сетях подвижной связи 4 поколения, и чтобы обеспечить необходимую скорость всем своим абонентам, операторам приходится искать различные методы по повышению скорости передачи данных или по повышению эффективности использования частотного ресурса. MIMO же позволяет в имеющейся полосе частот передавать в 2 раза больше данных за тот же временной промежуток при варианте 2x2. Если же использовать антенную реализацию 4x4, то, к сожалению, максимальная скорость загрузки информации составит 326 Мбит/с, а не 400 Мбит/с, как предполагает теоретический расчет. Это связано с особенностью передачи через 4 антенны. Каждой антенне выделены определенные ресурсные элементы (РЭ) для передачи опорных символов. Они необходимы для организации когерентной демодуляции и оценки каналов. Расположение этих РЭ изображено на рис. 11.14. Передающим антеннам присваивают номера логических антенных портов. Символы, помеченные R0 передает порт 0, символы R1 – порт 1 и т.д. В итоге 14,3% от всех РЭ выделено на передачу опорных символов, чем и обусловлено различие теоретической и практических скоростей.

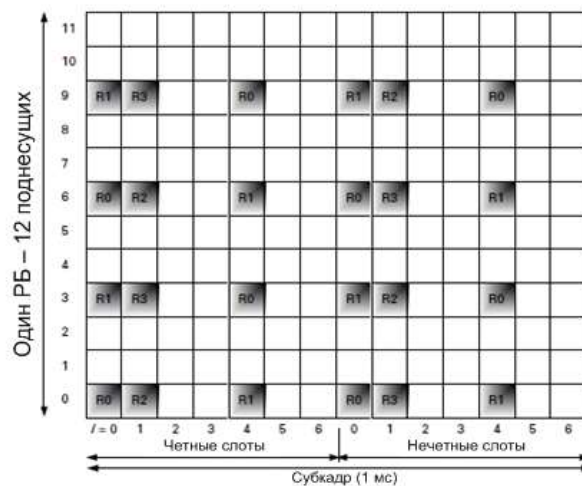


Рис. 11.14. Расположение РЭ для передачи опорных символов в субкадре

В заключение можно сделать вывод, что MIMO оправдала себя как перспективная технология для построения мобильных систем широкополосного радиодоступа со скоростями в сотни Мб/с.

### Абонентское оборудование и скорости передачи

Rel. 9 определяет 5 категорий абонентских терминалов (табл. 11.5).

Все абонентские терминалы LTE UE поддерживают полосу до 20 МГц:

- категории 1, 2, 3, 4 поддерживают MIMO DL2x2;
- категория 5 поддерживает MIMO DL4x4.

Табл. 11.5. Категории 1-5 абонентских устройств стандарта LTE

Category		1	2	3	4	5
Peak rate Mbps	DL	10	50	100	150	300
	UL	5	25	50	50	75
Capability for physical functionalities						
RF bandwidth		20MHz				
Modulation	DL	QPSK, 16QAM, 64QAM				
	UL	QPSK, 16QAM				QPSK, 16QAM, 64QAM
Mulit-antenna						
Max Layer #	DL	1	2			4

В следующих релизах специфицированы 6-8 категории абонентских устройств (табл. 11.6)

Табл. 11.6. Категории 6-8 абонентских устройств стандарта LTE

UE category	DL CA capability #CCs/BW(MHz) [provisional]	DL layers max # layers [provisional]
Category 6	1/20 MHz	4
	2/10+10 MHz	4
	2/20+20 MHz	2
	2/10+20 MHz	4 (10 MHz) 2 (20 MHz)
Category 7	1/20 MHz	4
	2/10+10 MHz	4
	2/20+20 MHz	2
	2/10+20 MHz	4 (10 MHz) 2 (20 MHz)
Category 8	[2/20+20 MHz]	[8]

UE category	UL CA capability #CCs/BW(MHz) [provisional]	UL layers max # layers [provisional]
Category 6	1/20 MHz	1
	2/10+10 MHz	1
	1/10 MHz	2
Category 7	2/20+20 MHz	1
	1/20 MHz	2
Category 8	2/10+20 MHz	2 (10 MHz) 1 (20 MHz)
	[2/20+20 MHz]	[4]

## Принципы построения и функционирования сетей LTE

LTE включает в себя сеть радиодоступа (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network, E-UTRAN) и усовершенствованное пакетное ядро (Evolved Packet Core, EPC).

Сеть LTE построена как совокупность новых базовых станций eNB (Evolved NodeB или eNodeB), где соседние eNB соединены между собой интерфейсом X2. eNB подключены к EPC посредством интерфейса S1. На рис. 11.15 показано взаимодействие новых элементов в архитектуре сети: S-GW (Serving Gateway) – обслуживающих шлюзов, содержащих ПО управления по протоколу MM (MME – Mobility Management Entity).

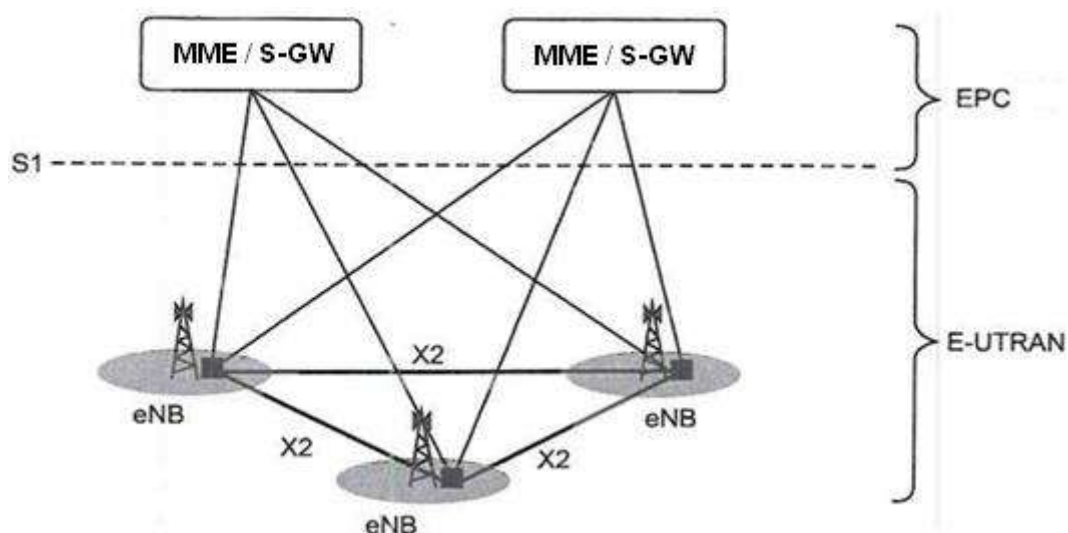


Рис. 11.15. Взаимодействие элементов в сети LTE

В сети радиодоступа радиointерфейс между UE и eNB осуществлен на основе технологии ортогонального частотного разнесения (**O**rthogonal **F**requency **D**ivision **M**ultiplexing, OFDMA). Работа EPC основана на технологии IP. Такую структуру относят к All-IP Network (AIPN).

Структура сети LTE приведена на рис. 11.16. Ядро сети EPC (Evolved Packet Core) состоит из обслуживающего шлюза S-GW (Serving Gateway), шлюза для выхода на пакетные сети P-GW (Packet Data Network Gateway), структуры управления по протоколу MME (Mobility Management Entity), связанной с S-GW и eNodeB сигнальными интерфейсами.

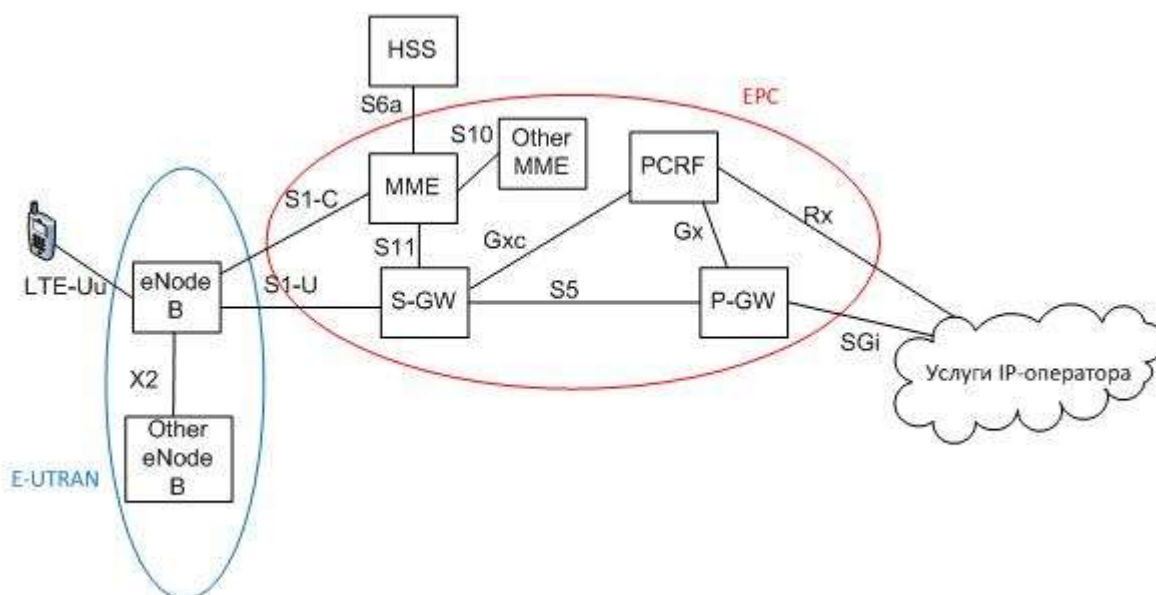


Рис. 11.16. Структура сети LTE

**eNB** объединяет в себе функции базовых станций и контроллеров сетей 3-го поколения:

- обеспечивает передачу трафика и сигнализации по радиоканалу,
- управляет распределением радиоресурсов,
- обеспечивает сквозной канал трафика к S-GW,
- поддерживает синхронизацию передач и контролирует уровень помех в соте,
- обеспечивает шифрование и целостность передачи по радиоканалу,
- выбирает MME и организует сигнальный обмен с ним,
- производит сжатие заголовков IP-пакетов,
- поддерживает услуги мультимедийного вещания,
- при использовании структуры с усилителями мощности на антенной мачте организует управление антеннами по специальному интерфейсу LuanT.

**Интерфейс S1**, как показано на рис. 11.15 поддерживает передачу данных с S-GW и сигнализации через MME. Отметим, что eNB может иметь соединения с несколькими S-GW (рис. 11.15).

**Интерфейсы X2** используют для организации хэндоверов между соседними базовыми станциями, в том числе и при балансировке нагрузки между ними. При этом интерфейсы X2 могут быть логическими, т.е. для их организации не обязательно реальное физическое соединение между eNB.

В функции **обслуживающего шлюза S-GW** входит:

- маршрутизация передаваемых пакетов данных,
- установка качественных показателей (QoS) предоставляемых услуг,
- буферизация пакетов для UE, пребывающих в состоянии Idle Mode,
- предоставление учетных данных для тарификации и оплаты выполненных услуг.

S-GW является якорной структурой, обеспечивающей мобильность абонентов. Каждую работающую UE обслуживает определенный S-GW. Теоретически UE может быть связана с несколькими пакетными сетями; тогда ее будут обслуживать несколько серверов S-GW.

Шлюз для выхода на пакетные сети **P-GW** организует точку доступа к внешним IP-сетям. Соответственно P-GW является якорным шлюзом для обеспечения трафика. Если абонент имеет статический IP-адрес, то P-GW его активизирует. В случае, если абонент должен получить на время сеанса связи динамический IP-адрес, P-GW запрашивает его с сервера DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) или сам выполняет необходимые функции DHCP, после чего обеспечивает доставку IP-адреса абоненту. В состав P-GW входит PCEF (Policy and Charging Enforcement Function), который обеспечивает качественные характеристики услуг на внешнем соединении через интерфейс Sgi и фильтрацию пакетов данных. При обслуживании абонента в домашней сети функции P-GW и S-GW могут выполнять как два разных, так и одно устройство. Интерфейс S5 представляет собой туннельное соединение GPRS или Proxy Mobile IPv6. Если P-GW и S-GW находятся в разных сетях (например, при обслуживании абонента в роуминге), то интерфейс S5 заменяют интерфейсом S8.

**Управляющий блок MME**, прежде всего, поддерживает выполнение процедур протокола Mobility Management: обеспечение безопасности работы в сети при подключении UE и выбор S-GW, P-GW. MME связан с HSS своей сети посредством интерфейса S6a. Интерфейс S10, соединяющий различные MME, позволяет обслуживать UE при перемещениях абонента, а также при его нахождении в роуминге.

**Policy and Charging Resource Function (PCRF)** по сути, представляет собой управляющий сервер, обеспечивающий централизованное управление ресурсами сети, учет и тарификацию предоставляемых услуг. Как только появляется запрос на новое активное соединение, эта информация поступает на PCRF. Он оценивает имеющиеся в его распоряжении ресурсы сети и направляет в PCEF шлюза P-GW команды, устанавливающие требования к качеству услуг и к их тарификации.