

Занятие № 26. “Технологии построения беспроводных сетей передачи данных”

1. Общая характеристика технологии построения беспроводных локальных сетей передачи данных

Все многообразие существующих беспроводных стандартов достаточно четко структурировано по шкале расстояний и скорости передачи данных рис.1.

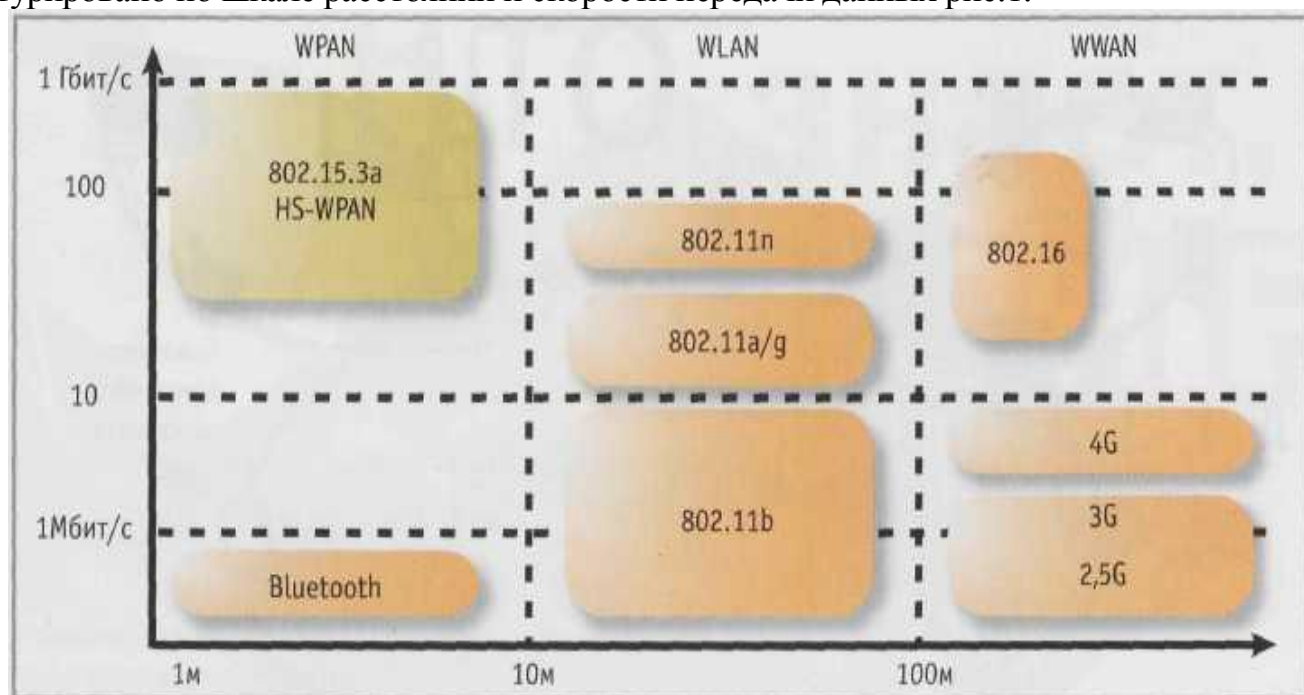


Рис. 1 Шкала расстояний и скорости передачи данных

Персональные сети беспроводного доступа – WPAN.

На сегодняшний день их всего два: существующий Bluetooth (802.15.1) и UWB, другое название WirelessUSB (802.15.3a). Оба рассчитаны на передачу данных на расстояние до 10 м, только Bluetooth работает на частоте 2,4 ГГц, а UWB – на частоте 7,5 ГГц. Скорость передачи данных по Bluetooth: достигает 720 кбит/с, на практике меньше. Стандарт UWB должен обеспечивать скорость передачи данных до 110 Мбит/с на расстоянии 10 м и до 480 Мбит/с на расстоянии 3 м от источника сигнала.

Беспроводные локальные сети – WLAN.

Три стандарта 802.11a, 802.11b и 802.11g, работающие на расстояние до 100 м. Различие между 802.11b и 802.11g касается скорости передачи данных: 11 Мбит/с — 802.11b и 54 Мбит/с - 802.11g. А 802.11a и 802.11g различаются только по частоте: 802.11a - 5 ГГц; 802.11g - 2,4 ГГц. В США устройства Wi-Fi могут работать в диапазоне 5 ГГц, а в Европе и России существуют серьезные ограничения, препятствующие распространению 802.11a.

Технологии для сетей WPAN и WLAN известны также под профессиональным жаргонным названием Wi-Fi. Термин Wi-Fi (Wireless Fidelity) в стандартах явно не прописан, поэтому в различной литературе можно встретить различные, иногда прямо противоречивые суждения относительно технологий и аппаратуры, которые он объединяет.

Стандарт 802.11, подразумевает возможность работы в двух режимах: с базовой станцией (точкой доступа) и без нее, когда несколько людей создают беспроводную локальную сеть, объединяя в нее свои ноутбуки, находясь в

помещении, в котором отсутствует базовая станция. Оба режима показаны на рис.2.



Рис.2. Беспроводная сеть с базовой станцией (а); специальная сеть (б)

Стандартом IEEE 802.11 предусмотрено использование частотного диапазона от 2,4 до 2,4835 ГГц, который предназначен для безлицензионного использования в промышленности, науке и медицине, что значительно упрощает правовую сторону построения сети. Стандарт IEEE 802.11, предполагал возможность передачи данных по радиоканалу на скорости 1 Мбит/с и опционально на скорости 2 Мбит/с, а в стандарте IEEE 802.11b за счет более сложных методов модуляции были добавлены более высокие скорость передачи - 5,5 и 11 Мбит/с.

Стандарт 802.11g является развитием 802.11b и предполагает передачу данных в том же частотном диапазоне. По способу кодирования 802.11g является, гибридным, заимствуя все лучшее из стандартов 802.11b и 802.11a. Максимальная скорость передачи в стандарте 802.11g составляет 54 Мбит/с (как и в стандарте 802.11a), поэтому на сегодняшний день это наиболее перспективный стандарт беспроводной связи.

2. Технологии расширения спектра, используемые методы модуляции и кодирования

На физическом уровне стандартом IEEE 802.11 предусмотрены ИК-канал и два типа радиоканалов - DSSS и FHSS использующих частотный диапазон от 2,4 до 2,4835 ГГц, предназначенный для безлицензионного использования в промышленности, науке и медицине (Industry, Science and Medicine, ISM).

Радиоканалы используют технологии расширения спектра (Spread Spectrum, SS) заключающиеся в том, чтобы от узкополосного спектра сигнала, возникающего при обычном потенциальном кодировании, перейти к широкополосному спектру, что позволяет значительно повысить помехоустойчивость передаваемых данных. Расширение спектра частот передаваемых цифровых сообщений может осуществляться двумя методами.

FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum — передача широкополосных сигналов по методу частотных скачков) используются 79 каналов шириной 1 МГц каждый. Для определения последовательностей скачков частот используется генератор псевдослучайных чисел. Поскольку при этом для всех станций используется один и тот же генератор, они синхронизированы во времени и одновременно осуществляют одинаковые частотные скачки. Период времени, в течение которого станция работает на определенной частоте, называется временем пребывания. Это настраиваемая величина, но она должна быть не более 400 мс. Кроме того, постоянная смена частот — это неплохой (хотя, конечно, недостаточный) способ защиты информации от несанкционированного прослушивания, поскольку незваный слушатель, не зная последовательности частотных переходов и времени пребывания, не сможет подслушать передаваемые данные. При

связи на длинных дистанциях может возникать проблема многолучевого затухания, и FHSS может оказаться хорошим подспорьем в борьбе с ней. Главный недостаток FHSS – это низкая пропускная способность.

DSSS напоминает систему CDMA, однако имеет и некоторые отличия. Каждый бит передается в виде 11 элементарных сигналов, которые называются последовательностью Баркера.

Информационный бит, представляемый прямоугольным импульсом, разбивается на последовательность более мелких импульсов-чипов. В результате спектр сигнала значительно расширяется, поскольку ширину спектра можно с достаточной степенью точности считать обратно пропорциональной длительности одного чипа. Такие кодовые последовательности часто называют шумоподобными кодами. Наряду с расширением спектра сигнала, уменьшается и спектральная плотность энергии, так что энергия сигнала как бы размазывается по всему спектру, а результирующий сигнал становится шумоподобным в том смысле, что его теперь трудно отличить от естественного шума.

Кодовые последовательности обладают свойством автокорреляции, степень подобия функции самой себе в различные моменты времени. Коды Баркера обладают наилучшими среди известных псевдослучайных последовательностей свойствами (рис. 3). Для передачи единичного и нулевого символов сообщения используются, соответственно, прямая и инверсная последовательности Баркера.

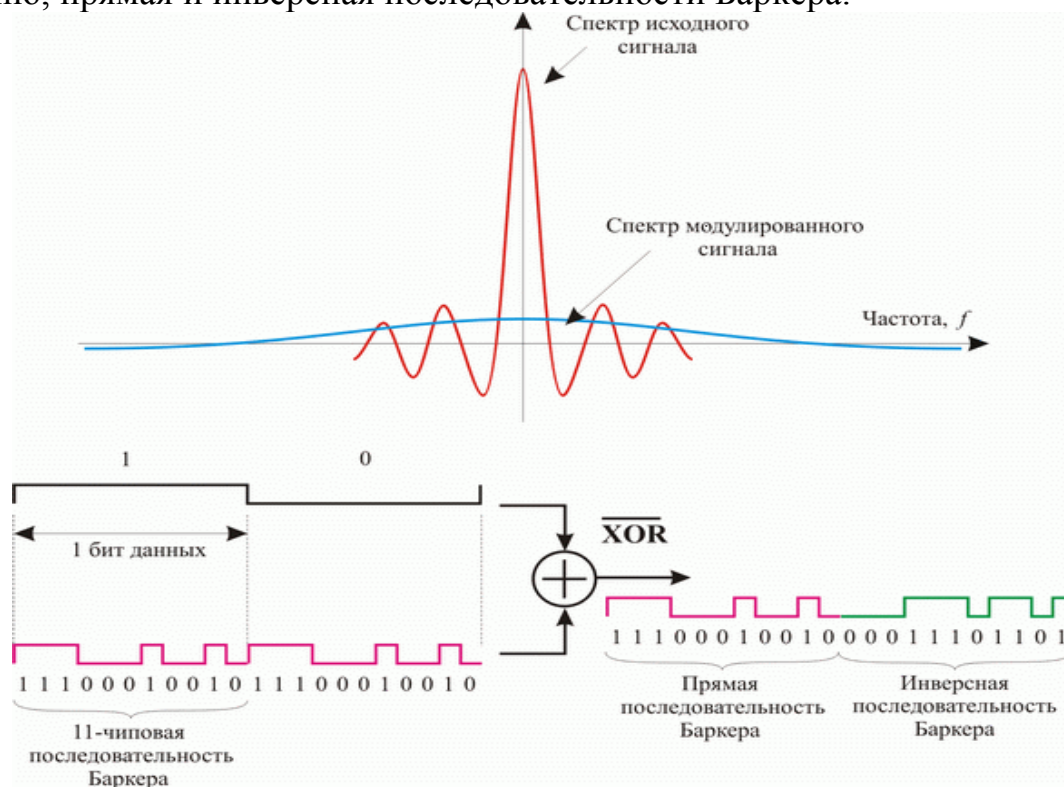


Рис. 3. Изменение спектра сигнала при добавлении шумоподобного кода.

В приёмнике полученный сигнал умножается на код Баркера (вычисляется корреляционная функция сигнала), в результате чего он становится узкополосным, поэтому его фильтруют в узкой полосе частот, равной удвоенной скорости передачи. Любая помеха, попадающая в полосу исходного широкополосного сигнала, после умножения на код Баркера, наоборот, становится широкополосной, а в узкую информационную полосу попадает лишь часть помехи, по мощности примерно в 11 раз меньшая, чем помеха, действующая на входе приёмника.

В стандарте IEEE 802.11 для передачи сигналов используют различные виды фазовой модуляции:

фазовую модуляцию (Phase Shift Key, PSK);

квадратурную фазовую модуляцию (Quadrature Phase Shift Key, QPSK),

относительную фазовую модуляцию (Differential Phase Shift Keying, DPSK).

Вместо шумоподобных последовательностей Баркера для расширения спектра могут использоваться комплементарные коды (Complementary Code Keying, CCK).

Используемые комплементарные 8-чиповые комплексные последовательности (CCK-последовательности) образуются по следующей формуле:

$$\{e^{j(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4)}, e^{j(\varphi_1 + \varphi_3 + \varphi_4)}, e^{j(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_4)}, -e^{j(\varphi_1 + \varphi_4)}, e^{j(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3)}, e^{j(\varphi_1 + \varphi_3)}, -e^{j(\varphi_1 + \varphi_2)}, e^{j\varphi_1}\}$$

Значения фаз определяются последовательностью входных битов, причём значение φ_1 выбирается по первому дибиту, φ_2 - по второму, φ_3 - по третьему и φ_4 - по четвёртому.

В стандарте 802.11a используется принципиально иной метод кодирования данных, который состоит в том, что поток передаваемых данных распределяется по множеству частотных подканалов и передача ведётся параллельно на всех этих подканалах. При этом высокая скорость передачи достигается именно за счёт одновременной передачи данных по всем каналам, а скорость передачи в отдельном подканале может быть и не высокой.

Несущие сигналы всех частотных подканалов (а точнее, функции, описывающие эти сигналы) ортогональны друг другу. С точки зрения математики ортогональность функций означает, что их произведение, усреднённое на некотором интервале, должно быть равно нулю. В данном случае это выражается простым соотношением:

$$\int_0^T \sin 2\pi f_l t \sin 2\pi f_k t dt = 0, k \neq l$$

где T - период символа, f_k, f_l - несущие частоты каналов k и l .

Ортогональность несущих сигналов можно обеспечить в том случае, если за время длительности одного символа несущий сигнал будет совершать целое число колебаний. Примеры нескольких несущих ортогональных колебаний представлены на рис. 4.

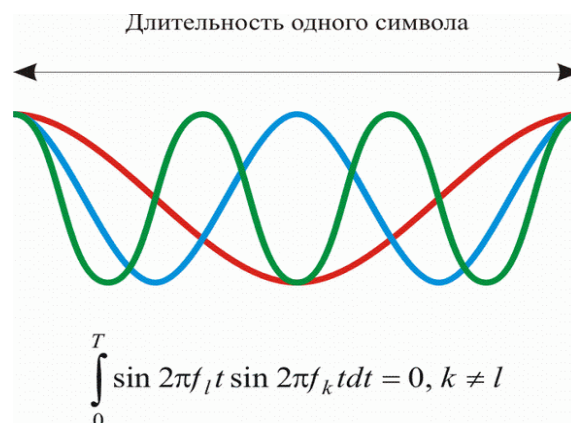


Рис. 4. Ортогональные частоты.

Рассмотренный способ деления широкополосного канала на ортогональные частотные подканалы называется ортогональным частотным разделением с мультиплексированием (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM). Для его реализации в передающих устройствах используется обратное быстрое преобразование Фурье (IFFT).

В стандарте 802.11g используются две конкурирующие технологии: метод ортогонального частотного разделения OFDM, заимствованный из стандарта 802.11a, и метод двоичного пакетного свёрточного кодирования PBCC, опционально реализованный в стандарте 802.11b. В результате стандарт 802.11g содержит компромиссное решение: в качестве базовых применяются технологии OFDM и CCK, а опционально предусмотрено использование технологии PBCC.

В основе метода PBCC лежит так называемое свёрточное кодирование со скоростью 1/2. Для восстановления исходной последовательности битов на стороне приёмника применяется декодер Витерби.

Таблица

Скорости передачи, предусмотренные протоколом 802.11g.

Скорость, Мбит/с	Метод кодирования	
	Обязательно	Опционально
1	Последовательность Баркера	
2	Последовательность Баркера	
5,5	CCK	PBCC
6	OFDM	CCK-OFDM
9		OFDM, CCK-OFDM
11	CCK	PBCC
12	OFDM	CCK-OFDM
18		OFDM, CCK-OFDM
22		PBCC
24	OFDM	CCK-OFDM
33		PBCC
36		OFDM, CCK-OFDM
48		OFDM, CCK-OFDM
54		OFDM, CCK-OFDM

3. Технологии построения беспроводных городских сетей передачи данных

В декабре 2001 года была принята первая версия стандарта IEEE 802.16-2001, который изначально предусматривал рабочую полосу 10-66 ГГц. Данный стандарт описывал организацию широкополосной беспроводной связи с топологией «точка-многоточка» и был ориентирован на создание стационарных беспроводных сетей масштаба мегаполиса (WirelessMAN). На физическом уровне стандарт IEEE 802.16-2001 предполагал использование всего одной несущей частоты, потому этот протокол называли WirelessMAN-SC (Single Carrier). Организация связи в частотном диапазоне

10-66 ГГц возможна только в зоне прямой видимости между передатчиком и приемником сигнала из-за быстрого затухания. Но это позволяет избежать одной из главных проблем радиосвязи — многолучевого распространения сигнала. Стандарт рекомендовал модуляцию типа QPSK, 16-QAM, 64-QAM и предусматривал скорость передачи информации 32-134 Мбит/с в радиоканалах шириной 20, 25 и 28 МГц на расстоянии 2-5 км.

802.16a-2003 предусмотрено использование частотного диапазона от 2 до 11 ГГц. Этот стандарт ориентирован на создание стационарных беспроводных сетей масштаба мегаполиса. Планировалось, что он станет альтернативой традиционным решениям широкополосного доступа для «последней мили» – кабельным модемам, каналам T1/E1, xDSL и т.п. Кроме того, предполагалось, что к базовой сети стандарта 802.16a станут подключиться точки доступа стандарта 802.11b/g/a для формирования глобальной сети беспроводного доступа в Интернет.

Отличие стандарта 802.16a работа в частотном диапазоне, который не требует прямой видимости между приемником и передатчиком. Зона покрытия таких беспроводных сетей значительно шире, чем сетей стандарта 802.16. Использование частотного диапазона 2-11 ГГц потребовало и существенного пересмотра техники кодирования и модуляции сигнала на физическом уровне. Система на базе 802.16a должна была работать с модуляцией QPSK, 16-, 64- и 256-QAM, обеспечивать скорость передачи информации 1-75 Мбит/с на сектор одной базовой станции в радиоканалах с изменяемой полосой пропускания от 1,5 до 20 МГц на расстоянии 6-9 км (теоретически до 50 км). Типовая базовая станция имела до шести секторов.

Был сохранен режим работы на одной несущей (SCa), предназначенный как для условий прямой видимости, так и вне ее. Предусматривались режимы на основе технологии ортогонального частотного мультиплексирования (OFDM) с 256 поднесущими и режим с технологией многостанционного доступа с ортогональным частотным разделением каналов (OFDMA — Orthogonal Frequency Division Multiple Access) с 2048 поднесущими.

Стандарт IEEE 802.16-2004 объединил все нововведения но, с полной совместимостью всех режимов мультиплексирования SC, SCa, OFDM и OFDMA, разной ширины радиоканалов, а также FDD, TDD и других требований возникли сложности, поэтому оборудование каждого производителя так и осталось уникальным.

Профили WiMAX

	Фиксированный WiMAX	Эволюционный WiMAX	Мобильный WiMAX
Стандарт радиointерфейса	IEEE 802.16-2004	IEEE 802.16e-2005	IEEE 802.16e-2005
Мультиплексирование	OFDM	OFDM	OFDMA
Номинальное число поднесущих	256	256	512, 1024
Дуплексный режим	TDD, FDD, HFDD	TDD, FDD, HFDD	TDD
Модуляция	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM (опционально)	QPSK, 16-QAM, 64-QAM (в восходящем канале — опционально)

Принцип предоставления канальных ресурсов

Основной принцип предоставления доступа к каналу в стандарте IEEE 802.16 – это доступ по запросу Demand Assigned Multiple Access (DAMA). Ни одна АС не может ничего передавать, кроме запросов на регистрацию и предоставление канала, пока БС не разрешит ей этого. Абонентская станция может как запрашивать определенный размер полосы в канале, так и просить об изменении уже предоставленного ей канального ресурса.

В стандарте IEEE 802.16 используются следующие процедуры преобразования сигналов:

- входной поток данных скремблируется;

- подвергается рандомизации, т. е. умножению на псевдослучайную последовательность (ПСП), получаемую в 15-разрядном сдвиговом регистре;

- далее скремблированные данные защищают посредством помехоустойчивых кодов (FEC-кодирование). При этом можно использовать одну из четырех схем кодирования:

 - код Рида-Соломона с символами из поля Галуа GF(256),

 - каскадный код с внешним кодом Рида-Соломона и внутренним сверточным кодом с кодовым ограничением $K = 7$ (скорость кодирования — $2/3$) с декодированием по алгоритму Витерби,

 - каскадный код с внешним кодом Рида - Соломона и внутренним кодом с проверкой на четность (8, 6, 2),

 - блоковый турбокод;

- допускается три типа квадратурной амплитудной модуляции: 4-позиционная QPSK и 16-позиционная 16-QAM (обязательны для всех устройств), а также 64-QAM (опционально);

далее сигнал усиливается и передается в эфир. На приемной стороне все происходит в обратном порядке.

Поскольку определяемая стандартом IEEE 802.16 система двунаправленная, необходим дуплексный механизм. Он предусматривает как частотное (FDD – frequency division duplex), так и временное (TDD – time division duplex) разделение восходящего и нисходящего каналов.

При временном дуплексировании каналов кадр делится на нисходящий и восходящий субкадры (их соотношение в кадре может гибко изменяться в процессе работы в зависимости от необходимой полосы пропускания для нисходящих и восходящих каналов), разделенные специальным интервалом. При частотном дуплексировании восходящий и нисходящий каналы транслируются каждый на своей несущей.

4. Сети LTE, принцип работы

LTE (Long Term Evolution) — это мобильная технология связи четвертого поколения (4G). Сам термин LTE расшифровывается как «долгосрочная эволюция».

LTE является следующим после 3G поколением мобильной связи и работает на базе IP-технологий. Основное отличие LTE от предшественников – высокая скорость передачи данных. Теоретически она составляет до 326,4 Мбит/с на прием (download) и 172,8 Мбит/с на передачу (upload) информации. При этом в международном стандарте указаны цифры в 173 и 58 Мбит/с, соответственно. Данный стандарт связи четвертого поколения разработало и утвердило Международное партнерское объединение 3GPP.

Система кодирования последнего поколения - OFDM

OFDM расшифровывается как Orthogonal Frequency-division Multiplexing и по-русски означает ортогональное частотное разделение каналов с мультиплексированием. Сигналы OFDM генерируются благодаря применению "Быстрого преобразования Фурье".

Данная технология описывает направление сигнала от базовой станции (БС) к вашему мобильному телефону. Что же касается обратного пути сигнала, т.е. от телефонного аппарата к базовой станции, техническим разработчикам пришлось отказаться от системы OFDM и воспользоваться другой технологией Single-carrier FDMA (переводе означает мультиплексирование на одной несущей). Смысл ее в том, что при сложении большого количества ортогональных поднесущих образуется сигнал с большим отношением амплитуды сигнала к своему среднеквадратичному значению. Для того чтобы такой сигнал мог передаваться без помех необходим высокочастотный и довольно дорогой высоколинейный передатчик.

MIMO – Multiple Input Multiple Output – представляет собой технологию передачи данных с помощью N-антенн и приема информации M-антеннами. При этом принимающие и передающие сигнал антенны разнесены между собой на такое расстояние, чтобы получить слабую степень корреляции между соседними антеннами.

На данный момент под сети 4G уже зарезервированы диапазоны частот. Наиболее приоритетными принято считать частоты в районе 2,3 ГГц. Другой перспективный диапазон частот – 2,5 ГГц применяется в США, Европе, Японии и Индии. Имеется еще частотная полоса в районе 2,1 ГГц, но она сравнительно небольшая, большинство европейских мобильных операторов ограничивают в этом диапазоне полосы до 5 МГц. В будущем, скорее всего, наиболее используемым будет частотный диапазон 3,5 ГГц. Это связано с тем, что на данных частотах в большинстве стран уже используются сети беспроводного широкополосного доступа в интернет и благодаря переходу в LTE операторы получают возможность вновь применять свои частоты без необходимости приобретения новых дорогих лицензий. В случае необходимости под сети LTE могут быть выделены и другие диапазоны частот.

Имеется возможность применения как временного разделения сигналов TDD (Time Division Duplex - дуплексный канал с временным разделением), так и частотного - FDD (Frequency Division Duplex - дуплексный канал с частотным разделением).

Зона обслуживания базовой станции сети LTE может быть разной. Обычно она составляет около 5 км, но в ряде случаев она может быть увеличена до 30 и даже 100 км, в случае высокого расположения антенн (секторов) базовой станции.

Другое позитивное отличие LTE – большой выбор терминалов. Помимо сотовых телефонов, в сетях LTE будут использоваться многие другие устройства, такие как ноутбуки, планшетные компьютеры, игровые устройства и видеокамеры, снабженные встроенным модулем поддержки сетей LTE. А так как технология LTE обладает поддержкой хендвера и роуминга с сотовыми сетями предыдущих поколений, все данные устройства смогут работать и в сетях 2G/3G.

Звонок или сеанс передачи данных, инициированный в зоне покрытия LTE, технически может быть передан без разрыва в сеть 3G (WCDMA), CDMA2000 или в GSM/GPRS/EDGE.