1. Введение

По мере роста пользователей мобильного интернета и постоянно возрастающей потребности иметь возможность мобильного широкополосного доступа (ШПД) не только в домашних условиях или, скажем на рабочем месте, а в любой точке нахождения современного пользователя интернета, мобильный ШПД становится с каждым днем более распространенным.

Люди, которые привыкли идти в ногу с развитием технического прогресса, уже сегодня могут использовать интернет или работать с электронной почтой прямо с ноутбуков, с поддержкой технологии HSPA(High Speed Packet Access), а также обмениваться мультимедийным контентом (фото, видео, музыка) с телефонов в которых поддерживается технология 3G. С появлением технологии LTE(Long Term Evolution), пользователям такими услугами станло намного удобнее и комфортнее.

1. Емкость и производительность.

Одно из основных требований, предъявляемых стандартом к системам LTE - поддержка максимальной скорости загрузки данных вплоть до 100 Мбит/с. Но в рамках данной технологии возможна реализация еще более высоких скоростей (более 200 Мбит/с), и одна из ведущих компаний-производителей оборудования для ШПД уже демонстрировала работу системы LTE со скоростью около 150 Мбит/с. Более того, время отклика на посылку короткого пакета данных в радиоподсистеме RAN (Radio Access Network) сети LTE не должно превышать 10 мс. Такие требования говорят о том, что система LTE, более, чем какая либо другая технология, отвечает ключевым требованиям, предъявляемым к системам 4G.

2. Простота.

Система LTE обеспечивает работу в полосе частот различной ширины, начиная от значений заметно ниже 5 МГц (1.5 МГц) и до полосы 20 МГц. LTE также может быть реализована на основе различных принципов разделения сигналов, частотного (FDD - Frequency Division Duplex) и временного (TDD - Time Division Duplex). Сейчас для работы систем LTE предусмотрено 10 парных и 4 непарных диапазона частот. В дальнейших планах применение и других частотных диапазонов. Поэтому операторы могут сначала запускать LTE в "новых" частотных диапазонах, где проще получить полосы в 10 МГц (или 20 МГц), а далее пошагово внедрять LTE во всех остальных доступных диапазонах. Также продукты радиоподсистемы LTE будут обладать свойствами, которые облегчат построение и управление сетей следующего поколения. Для примера, такие функции, как "plug and play", автооптимизация и автоконфигурация упростят, а также снизят затраты на старт и управление сетями.

3. Широкий выбор терминалов

Помимо мобильных телефонов, в сетях LTE будет работать огромное количество компьютеров, нетбуков, ноутбуков, игровых приставок и других устройств, оснащенных модулем работы с LTE-сетью. Так как LTE обеспечивает поддержку handover и rouming в уже существующих мобильных сетях, то все эти устройства сразу после запуска смогут использовать существующее покрытие сетей 2G/3G.

С внедрением LTE, операторы смогут эффективно использовать выделенные им диапазоны частот, а также достичь бизнес-целей в области мобильного ШПД и связанных с этой технологией услуг.

2. Что такое LTE

LTE (Long Term Evolution) - название мобильного протокола передачи данных. LTE это продолжение развития технологии CDMA,UMTS, основанной на использовании OFDM (к клиенту), SC-FDMA (от клиента) и MIMO. Особенностью этой технологии является возможность работать с частотным (парным, FDD) и временным (непарным, TDD) разделением каналов, что позволяет применять различные технологии оборудования, находящегося у операторов. Применение антенных технологий MIMO позволяет базовой станции обслуживать в 10 раз больше клиентов, чем позволяла прежняя технология WCDMA.

2.1 Основные характеристики LTE:

• Максимальная скорость приема 326 Mbps с шириной канала 20 MHz   
• Максимальная скорость отдачи 86.4 Mbpps с шириной канала 20 MHz   
• Работа в режимах TDD и FDD.  
• ширина канала масштабируется до 20 MHz, с различным (1.4, 2.5, 5, 10, 15, и 20 MHz) шагом.  
• Увеличенная спектрально-частотная эффективность в сравнении с Release 6 HSPA  
• время отклика, до 10 msec, между оборудованием пользователя и базовой станцией и менее 100 msec время перехода в активное из неактивного состояния.

LTE является сетью с пакетной передачей данных и оптимизирована для использования IP технологий и всех возможностей, которые присущи ip-сетям. Соответствующие технические требования разработаны и утверждены международным организацией 3GPP.

LTE - это переход от систем CDMA (WCDMA) к системам OFDMA, а также переход от систем с коммутацией каналов к системе e2e IP (система коммутации пакетов). Для перехода на LTE требуются устройства для абонентов, способные одновременно работать в сетях LTE/3G. Это необходимо учитывать для более плавного перехода к новейшим сетям.

2.2 Цели разработки LTE

снижение затрат на передачу данных;  
увеличение скорости передачи данных;   
возможность предоставления большего спектра услуг по более низкой цене;   
повышение гибкости использования уже существующих систем.

Но основная цель – это увеличение скорости передачи данных, потому что все остальные цели, вытекают из решения этой задачи. Внедрение LTE обеспечит возможность создания высокоскоростных систем мобильной связи, оптимизированных для пакетной передачи данных со скоростью до 300 Мбит/с от базовой станции к пользователю и до 75 Мбит/с в обратном направлении. Построить сеть LTE будет возможно в различных частотных диапазонах - от 1.4 МГц до 20 МГц, а также по различным технологиям разделения - FDD (частотное) и TDD (временное).

Для внедрения скоростей до 326.4 Мбит/с в планах использовать технологию MIMO в конфигурации антенн 4x4. В конфигурации 2x2 пиковые скорости "вниз" достигают 172.8 Мбит/с (в частотной полосе 20 МГц). Максимальная скорость в направлении "вверх" достигает 86.4 Мбит/с на каждую полосу в 20 МГц.

Радиус действия базовой станции LTE различен. В оптимальном случае - это около 5 км, но при при достаточном поднятии антенны и существующей потребности он может составить до 100 км.

Протокол LTE более эффективно использует частотный спектр, отличается увеличенной емкостью и меньшими значениями задержки (latency), которая для небольших пакетов может достигать значения всего в 5 мс. Увеличение скорости передачи данных способствует повышению качества предоставляемых услуг, ускоряет распространение новых мультимедийных сервисов, таких как - многопользовательские онлайн-игры, видеоконференции, социальные сети, системы мониторинга и М2М, интерактивные онлайн приложения и прочее. Еще одно из преимуществ – это то, что в отличие от WCDMA (требующей полосы в 5 МГц), LTE-сеть способна работать с разными полосами частот - от 1.5 МГц до 20 МГц.

Звонок по мобильному телефону или сеанс передачи данных, инициированный в зоне действия LTE, технически передается без разрыва и потерь в сети 3G (WCDMA), GSM/GPRS/EDGE или в CDMA2000.

Внедрение технологии LTE позволяет операторам уменьшить общие затраты, сократить совокупную стоимость эксплуатации сети, расширить свои возможности в области предоставления различных услуг и технологий, увеличить доходы за счет предоставления более качественных услуг передачи данных. Сеть также поддерживает MBSFN (Multicast Droadcast Single Frequency Network), что позволяет внедрять такие услуги, как мобильное ТВ в противовес DVB-H.

Стандарт Rel.8 предусматривает возможность одновременной работы до 200 активных пользователей в каждой соте, использующей полосу в 5 МГц.

2.3 Возможности, обеспечиваемые LTE

Высокая чувствительность;

Высокая пропускная способность сети;   
Больше каналов мобильного ТВ;  
Поддержка онлайн-игр за счет низкого latency;   
Высокая интерактивность;   
Более высокая скорость загрузки данных;   
Возможность передачи голоса по IP/IMS;   
Более высокое качество обслуживания;   
OFDMA на линии от базовой станции с модулацией 64QAM;  
Лучше качество изображения мобильного ТВ;   
TDD, и FDD профили;  
Полностью IP e2e сеть;   
Ширина канала до 20 МГц;   
Улучшенная антенная аппаратура;

2.5 Стандартизация LTE

LTE - это следующий важный шаг в развитии мобильной связи, который оформлен, как Release 8 3GPP (3rd Generation Partnership Project). LTE использует ортогональное мультиплексирование с частотным разделением (OFDM, Orthogonal Frequency Division Multiplexing) в качестве технологии радиодоступа, вместе с модернизированными антенными технологиями.

3GPP - это организация, основанная в 1998 году. Она объединила несколько организаций в области стандартизации телекоммуникаций. В настоящее время туда входят следующие компании CCSA , ARIB, ATIS, ETSI, TTA и TTC. Новаторы и разработчики со всего мира, представляющие более шести десятков операторов, вендоров и НИИ, принимают участие в совместных попытках сформулировать стандарт радиодоступа LTE.

Помимо протокола LTE, 3GPP разработала также "плоскую" сетевую архитектуру, основанную на применении IP-технологии. Данная архитектура определена, как часть разработок в рамках проекта SAE (System Architecture Evolution). Также были разработаны архитектура и концепции LTE-SAE для поддержки массового использования любых услуг на базе интернет протокола. Архитектура основана на эволюции существующей базовой сети GSM/WCDMA в сторону упрощения операций и эффективного по затратам развертывания.

Также было инициировано взаимодействие между 3GPP и 3GPP2 (организация, занимающаяся стандартизацией CDMA) с целью оптимизации межсетевого взаимодействия между CDMA и LTE-SAE. Это означает, что операторы CDMA смогут развить свои сети до LTE-SAE и воспользоваться экономией на масштабе и глобальном характере производства микросхем (чипов), что сыграло большую роль в успехе GSM и WCDMA.

Отправной точкой для стандартизации протокола LTE стала рабочая встреча 3GPP RAN Evolution Workshop, состоявшаяся осенью 2004 года в Канаде. В том же 2004 году начались исследования, целью которых было обозначить временные рамки эволюции технологии радиодоступа 3GPP:

сокращенная стоимость на бит;  
  
гибкое использование существующих и новых частотных диапазонов;  
увеличение объема услуг - больше услуг за меньшую цену с более высокой удовлетворенностью пользователей;

упрощенная архитектура и открытые интерфейсы;  
сниженное энергопотребление терминалов

Данное исследование потребовалось для того, чтобы подтвердить, что концепция LTE сможет обеспечить набор требований, сформулированных в в 3GPP TR 25.913 Feasibility Study of Evolved UTRA and UTRAN.

Разработку LTE разбили на контрольные точки. График работ был согласован на заседаниях 3GPP летом 2007 г. Результаты показывали, что LTE не только отвечает, а иногда и превосходит, цели, установленные в отношении максимальных скоростей, пропускной способности, а также по производительности VoIP и Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS).

Завершить процедуру стандартизации LTE запланировали до конца 2007 года. После выхода первой спецификации были запланированы доработки и улучшения, которые будут связаны с изменениями требований и функциональности данного протокола.

2.6 Факты: набор исходных требований 3GPP к LTE

повышенная пиковая скорость: 100 Мбит/с в направлении вниз и 50 Мбит/с в направлении вверх;  
сокращение отклика сети радиодоступа до 10 мс  
повышенная спектральная эффективность (в 2-4 раза, по-сравнению с HSPA Release 6);  
эффективная по затратам миграция от радиоинтерфейса и архитектуры Release 6;  
Universal Terrestrial Radio Access (UTRA);  
Улучшенная возможность широковещания;  
IP-оптимизация (фокус на услугах в области пакетной коммутации);  
масштабируемый диапазон от менее, чем 5 МГц до 5 МГц, 10 МГц, 15 МГц и 20 МГц;  
поддержка работы, как с парными, так и с непарными частотными диапазонами;  
поддержка межсетевого взаимодействия с существующими системами 3G и системами, которые не стандартизировались 3GPP.

3. Оборудование

Технически, LTE является производным от GSM сетей поколений 2, 2.5, 3G. Поэтому, наиболее подходящими сетями для внедрения данной технологии являются уже существующие сети мобильных операторов. Апгрейд оборудования для работы с поддержкой сетей 3G\LTE, позволяет развить существующую сеть, объединяя все возможности передачи голоса с ip-сетями, создавая, таким образом, единую, мультисервисную среду передачи данных.   
На данный момент, в разработке и испытании оборудования для LTE участвуют многие гранды радиоэлектронной промышленности, в частности, Alcanel-Lucent, Motorolla, NTT DoCoMo, , Ericsson и т.п.

3.1 Варианты сосуществования сети LTE и сетей предыдущих поколений.

Наилучшим вариантом для тех операторов, которые уже располагают построенными сетями 2G и/или 3G/UMTS (WCDMA или CDMA2000), является построение конвергентной сети 2G/3G/LTE с единым управлением и поддержкой плавных хендоверов без прерывания сервисов. Для построения такой сети должны быть доступны в конвергентном варианте все основные составляющие сети:

- конвергентные мультисандартные BTS;   
- конвергентная транспортная сеть;   
- конвергентные услуги;

- конвергентный O&M.

3.2 Отвечая потребностям абонентов.

По графику работ, до конца 2009 года должны появится первые коммерческие аппараты LTE/CDMA, первые USB-донгл, пригодные для полевых испытаний, первый чипсет и первая "дата-карта" для использования в ноутбуках.   
В планах на 2010 год значится первый телефон с поддержкой LTE/3G, первый телефон с поддрежкой LTE, первый USB-донгл, первый КПК с поддержкой LTE.   
Стандарт предусматривает 5 классов терминалов, которые ориентированы на передачу в основном голосовых данных. Терминалы должны обеспечить работу в частотной полосе 20 МГц.

Число абонентов ШПД к 2012 году, как ожидается, может достичь порядка двух млрд. По прогнозам практически 2/3 от этого количества, будут использовать мобильный ШПД. Трафик передачи мобильных данных в 2010 году будет превосходить по объему трафик передачи голоса, что предъявляет высокие требования к мобильным сетям в самом ближайшем будущем и даже сейчас.

Потребители поняли и оценили преимущества мобильного ШПД. Очень большое количество людей уже используют мобильные телефоны и многие кроме того подключают свои нетбуки и ноутбуки к беспроводным сетям. Шаг к полному мобильному ШПД очевиден, особенно, когда речь идет о LTE-сети, обеспечивающей качественное покрытие и роуминг с существующими сетями 2G/3G.

Также, полученный при эксплуатации сетей, опыт с поддержкой HSPA показал, что если оператор обеспечивает качественное покрытие и предоставляет необходимые услуги и терминалы, то использование мобильного ШПД быстро обретет популярность у данного оператора.   
Пакетный трафик передачи данных начал опережать трафик передачи голоса уже весной 2007 года в сетях 3G (WCDMA). Основной причиной этому стало появление в сетях поддержки HSPA. Карточки беспроводных модемов HSPA и USB-донглы очень быстро обрели популярность у абонентов. Некоторые операторы отмечают даже 4х-ый прирост трафика передачи данных по истечении 3-4 месяцев с момента запуска поддержки HSPA.   
Во многих случаях, мобильный ШПД может конкурировать с фиксированным ШПД по цене, производительности, защищенности и по удобству. Абоненты могут лучше организовывать свое время, используя мобильный доступ, нежели настраивая подключение к беспроводной LAN.

Также, число доступных беспроводных приложений существенно вырастает в мобильных сетях. Социальные сети, поисковые машины, приложения, обеспечивающие индикацию присутствия (presence), сайты для совместного использования контента, вот некоторые из очевидных примеров. Благодаря мобильности, эти приложения становятся более ценными для абонентов. Высокие максимальные скорости и сокращенное время отклика в сетях LTE позволяют обеспечить поддержку приложений real-time.

3.3 Отвечая потребностям операторов.

Операторы, которые ведут свой бизнес в ситуации постоянной конкуренции, ведут борьбу не только с другими операторами, но также и с новыми участниками рынка и новыми бизнес моделями и идеями. Однако, с появлением новых бизнес моделей и идей появляются и новые возможности. Сегодня у мобильных операторов есть преимущество, которое состоит в том, что у них есть возможность предоставлять конкурентные услуги мобильного ШПД на базе уже совершенных инвестиций в технологии 2G/3G.   
Поэтому операторы столь активны в формулировании стратегий и требований к технологии мобильномого ШПД, в их работе с организациями, которые занимаются стандартизацией. Некоторые из операторов, входящих в число мировых лидеров, вендоры и НИИ объединили свои силы в рамках Next Generation Mobile Networks Ltd. (NGMN, Сети мобильной связи следующего поколения). NGMN работает в тесном сотрудничестве с существующими организациями, занимающимися стандартизацией. Хотя NGMN этого и не отмечал, но стандарты LTE-сетей отвечают всем требованиям NGMN.

3.4 Архитектура.

В параллель с радиодоступом LTE, опорные пакетные сети также эволюционируют к плоской архитектуре SAE. Эта новая архитектура разработана для оптимизации производительности, улучшения эффективности затрат и упрощения запуска услуг на базе IP для массового рынка.   
На пользовательском уровне архитектуры SAE есть всего два базовых устройства: базовая станция LTE (eNodeB) и гейт SAE Gateway. Базовые станции LTE подключаются к опорной сети, используя интерфейс S1 - Core Network - RAN. Такая плоская архитектура сокращает число узлов, необходимых для обеспечения соединения.   
Существующие системы 3GPP (GSM и WCDMA/HSPA) и 3GPP2 (CDMA2000 1xRTT, EV-DO) интегрированы в систему LTE за счет использования стандартизованных интерфейсов, обеспечивающих оптимизированную мобильность. Для систем 3GPP это означает наличие сигнального интерфейса между CDMA RAN и новой опорной сетью. Такая интеграция обеспечит поддержку, как двойных, так и одиночных радио хэндоверов, обеспечивая возможность плавной миграции к LTE.   
Управление сигнализацией, например, для обеспечения мобильности, поддерживается узлом управления мобильностью (Mobility Management Entity, MME), выделенным из гейта (Gateway). Это упрощает оптимизацию развертывания сети и обеспечивает возможность гибкого масштабирования ее емкости.   
Сервер домашних абонентов (HSS) подключается к пакетной сети (Packet Core) за счет интерфейса, основанного на Diameter, а не на базе сигнализации SS7, которая использовалась в сетях GSM и WCDMA. Сигнализация сети для полицейского прослуживания и для биллинга (charging) также основана на Diameter. Это означает, что все интерфейсы архитектуры - это IT-интерфейсы.   
Существующие системы GSM и WCDMA/HSPA интегрированы с системой LTE с помощью стандартизованных интерфейсов между SGSN и опорной сетью LTE. Как ожидается, попытка интегрировать CDMA доступ также приведет к обеспечению возможности поддержания мобильности между сетями CDMA и LTE. Такая интеграция также должна обеспечивать, как дуальный, так и одиночный handover вызовов, что обеспечивает гибкую возможность миграции из сетей CDMA в сети LTE.   
В LTE-SAE действует концепция QoS (качества услуги), основанная на понятии класса услуги. Это обеспечивает простое, но эффективное решение, позволяющее оператору предлагать дифференцировать предоставляемые пакетные услуги.

*Плоская архитектура LTE и SAE*

3.5 Радиотехнология OFDM

LTE использует OFDM для формирования нисходящего канала, т.е. канала от базовой станции к мобильному устройству. OFDM отвечает требованиям LTE к спектральной гибкости и позволяет создавать эффективные по затратам решения для широкополосных несущих с высокими пиковыми скоростями передачи данных. Это хорошо проработанная технология, о чем свидетельствует целый спектр стандаров, таких, как, например, IEEE 802.11a/b/g. 802.16, HIPERLAN-2, DVB и DAB.   
OFDM использует много узкополосных поднесущих для обеспечения передачи. Базовый нисходящий канал LTE на физическом уровне можно рассматривать, как частотно-временную решетку, как показано на рис.5. В частотной области, промежутки между поднесущими, дельта f, составляют 15 кГц. Кроме того, продолжительность "символа" OFDM составляет 1 / дельта f + префикс цикличности. Префикс цикличности используется для обеспечения ортогональности между поднесущими даже в условиях радиоканала с дисперсией по времени.   
Один ресурсный элемент формируется модуляцией QPSK, 16QAM или 64QAM. В случае, если используется модуляция 64QAM, каждый ресурсный элемент обеспечивает передачу 6 бит информации.   
Символы OFDM сгруппированы в ресурсные блоки. Ресурсные блоки имеют размер в 180 кГц в частотном измерении и 0.5 мс во временном измерении. Каждый временной интервал передачи (TTI, Transmission Time Interval) состоит из двух слотов (Tslot).   
Каждому пользователю присваивается некоторое количество ресурсных блоков в частотно-временной решетке. Чем больше ресурсных блоков назначается пользователю, и чем более высокая степень модуляции используется в формировании ресурсных элементов, тем больший получается битрейт.   
Какие ресурсные блоки будут назначены и сколько их получит пользователь в данный момент времени, зависит от модернизированного алгоритма составления частотно-временного расписания. Алгоритм составления расписания, используемый в LTE, похож на тот, что применяется в HSPA и обеспечивает оптимальное функционирование различных услуг в различных условиях.

*Физические ресурсы нисходящего канала LTE основаны на OFDM.*

В восходящем канале, LTE использует пре-кодированную версию OFDM под названием SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access - множественный доступ с частотным разделением на базе одной несущей). Это предпринято для того, чтобы компенсировать расходы на OFDM, который отличается очень высоким отношением пиковой мощности к средней мощности радиосигнала (PARP - Peak to Average Power Ratio). Реализация высоких значений PARP требуют использования дорогих и неэффективных усилителей мощности, предъявляющих высокие требования к линейности, что сказывается на росте стоимости терминалов и быстроте разряда батарей.   
SC-FDMA позволяет решить проблему за счет объединения ресурсных блоков таким образом, что сокращаются требования к линейности, а также к потребляемой мощности усилителя. Меньшие значения PARP кроме того улучшают покрытие и производительность соты.

3.6 FDD и TDD

Частотные диапазоны для FDD и TDD

LTE может использоваться, как в парных (FDD), так и в непарных (TDD) участках спектра. FDD - обеспечивает большую эффективность и представляет больший потенциал использования устройств и инфраструктуры, тогда как TDD выполняет роль хорошего дополнения. Так как оборудование для LTE практически идентично для случаев FDD и TDD (кроме фильтров), операторы, которые начнут с построения сетей на TDD, смогут далее воспользоваться эффектом экономии на масштабе, который обеспечит широкое распространение продуктов FDD.

Сегодня все сотовые системы связи используют FDD, и более 90% частот, используемых системами мобильной связи во всем мире являются парными наборами полос частот. В случае с FDD, трафик вниз и вверх обеспечивается одновременно в различных частотных диапазонах. В системах TDD, передача в канале вверх и вниз не ведется непрерывно, что позволяет использовать для организации канала один и тот же частотный диапазон. Например, если разделить время между передачей вверх и вниз в соотношении 1:1, то направление вверх будет использоваться лишь половину времени. Средняя мощность, для каждого сеанса связи, также оказывается равна половине пиковой мощности. Поскольку пиковая мощность ограничена регулятором, то в результате получается, что для той же пиковой мощности, TDD обеспечивает меньшее покрытие, нежели FDD.   
Более того, операторы зачастую хотели бы выделить более, чем половину своих ресурсов для организации канала вниз (чтобы повысить пиковую скорость в этом направлении). Если соотношение DL/UL равно 3:1, то для реализации сети TDD потребуется на 120% больше сайтов, против реализации сети FDD.

*Различные соотношения DL/UL в TDD-канале*

Сейчас 3GPP было выделено 10 различных дипазона частот для построения систем LTE-FDD и 4 частотных диапазона для LTE-TDD, это отражено в таблицах. Скорее всего этот перечень будет расширяться за счет добавления других частотных диапазонов, таких, например, как диапазон 700 МГц на территории США.

*Полосы частот для LTE-FDD и LTE-TDD*

Инфраструктура сети LTE и терминалы будут сразу поддерживать работу с множеством частотных диапазонов. LTE достаточно быстро сможет обеспечить возможность экономии на масштабах глобального покрытия.   
LTE поддерживает гибкий подход к ширине несущих, которые могут варьировать от менее, чем 5 МГц вплоть до 20 МГц во многих частотных диапазонах, причем, как при построении сети FDD, так и при TDD.

Оператор может разворачивать LTE-сеть в новых или и в уже имеющихся частотных диапазонах.

Первыми могут быть диапазоны, где, в целом, легче будет найти несущие в 10 МГц или в 20 МГц (например, 2.6 ГГц (диапазон VII), AWS (диапазон IV) или диапазон 700 МГц), но, кроме того, LTE можно строить во всех сотовых диапазонах. В отличие от прежних систем сотовой связи, LTE будет быстро развернута в различных частотных диапазонах.

4. Сравнение сетей WiMAX и LTE

Обе сети позиционируют себя как класс следующий после 3G сетей.  
Обе сети используют технологию MIMO и OFDM передачу данных.   
Максимальные скорости: WiMAX 100Мб\с LTE 300Мб\сs  
Стандарт WiMAX принят и утвержден, ведется развертывание этих сетей, в свою очередь LTE находится на стадии доработки спецификаций и утверждения.  
Недостатком сетей WiMAX является то, что их нужно строить практически с нуля, в то время как для LTE нужно лишь модернизировать оборудование.  
Рабочие частоты LTE - GSM частоты (400-2700MHz), WiMAX - 5.47-5.67 Ghz.  
Абоненты сети LTE - это абоненты мобильных операторов, для технологии WiMAX же абонентскую базу необходимо отвоевывать у мобильных операторов.

Несмотря на то, что эти два стандарта являются альтернативой друг другу, изготовители предпочитают встраивать в оборудование поддержку обоих стандартов, это выгодно для потребителя и очень способствует развитию широкополосной связи.

5. Выводы

5.1 Ценовая эффективность

Существует большая поддержка LTE со стороны Mobile-индустрии. Многие поставщики, операторы и НИИ участвуют в стандартизации этой технологии.

Ключевой фактор успеха любой технологии - это экономия на масштабе. Преимущества, связанные с объемами, существенны, как для абонентских терминалов, та и для оборудования. Они сказываются на снижении затрат на производство и позволяют операторам предоставлять абонентам эффективные по цене услуги. Это одна из основных причин, которая привлекает к LTE тех операторов, которые только собираются выйти на рынок с собственной сетью мобильного ШПД.  
Продвижение LTE на рынок будет осуществляться по разным сценариям, в зависимости от конкретных рыночных условий в той или иной стране, регуляторных особенностей. Первые устройства будут мультимодовыми, что позволит говорить о широкой зоне покрытия, мобильности и услуг с первого дня запуска сети LTE. До внедрения LTE можно будет использовать существующие стандартные сети мобильной связи.

Важно, что внедрение инфраструктуры LTE очень простое и эффективно с точки зрения затра. Например, должна быть возможно осуществить модернизацию существующих базовых станций радиоподсети под требования LTE, используя легко заменяемые модули, причем они смогут работать и с одним частотным диапазоном и с парными наборами частот.   
Отдельные базовые станции для LTE также будет проще установить, чем современное оборудование GSM/WCDMA. Запуск сети, ее эксплуатация и менеджмент могут быть упрощены за счет использования таких функций, как "включил и работает" и "авто-отимизация", что позитивно сказывается на сокращении капитальных и операционных затрат оператора.  
Технология LTE целиком подходит под характеристику "технологий завтрашнего дня" . Быстрая скорость, устойчивость к помехам, масштабируемость, приспособленность к сложным условиям передачи сигнала, все это хорошо согласуется с современными требованиями к мультисервисным сетям. Готовность к использованию этой технологии подтверждают как операторы так и производители базовых станций.

5.2 Заключение

LTE-сеть отвечает требованиям к сетям мобильной связи следуюшего поколения - как для существующих операторов 3GPP/3GPP2, так и для новых операторов. Данная технология позволит предоставлять более производительные услуги мобильного ШПД для очень большой аудитории, применяя комбинацию максимальных скоростей и большой пропускной мощности системы в любом направлении, причем с очень низким latency.

Инфраструктура LTE разработана так, что развертывание и эксплуатация будет более простой, с этой целью разработана более гибкая технология, способная работать в широком классе частотных диапазонов. LTE также имеет возможность масштабирования частотных диапазонов и поддерживает, как парные частотные диапазоны (для FDD), так и одиночные (для TDD). Архитектура LTE-SAE будет обеспечивать межсетевое взаимодействие с сетями GSM, WCDMA/HSPA, TD-SCDMA и CDMA.

В LTE-сети можно будет находиться не только с помощью мобильного телефона, но также с помощью компьютера, нетбука, ноутбука, , камеры, камкордера, и др. устройств, сориентированных на мобильный ШПД.