

СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА WiMAX И LTE**Введение**

Исторически технологии беспроводной связи развивались по двум независимым направлениям – системы сотовой связи и системы передачи данных (Wi-Fi, WiMAX). Но в последнее время наблюдается тенденция к их слиянию. Более того, объем пакетных данных в сетях сотовой связи третьего поколения (3G) уже превышает объем голосового трафика, что связано с внедрением технологий HSPA. Однако требования конечных пользователей к предоставляемым услугам постоянно повышаются. Мобильные сети должны использоваться не только для сотовой связи, но и для передачи видео, мобильного ТВ, музыки и работы с Интернетом с высокими скоростями и качеством передачи. Именно с этой целью в рамках проекта сотрудничества в создании сетей третьего поколения 3GPP (3G Partnership Project) была начата разработка технологии LTE. По сравнению с ранее разработанными системами 3G, радиointерфейс LTE обеспечит улучшенные технические характеристики. в условиях многолучевого распространения радиоволн [1, 2].

Сравнение радиointерфейсов технологий WiMAX 802.16e и LTE

В настоящее время технология LTE потенциально обеспечивает наиболее высокие характеристики по сравнению с другими системами беспроводной связи. При этом ее ближайшим конкурентом является технология WiMAX. Поэтому представляет интерес сравнение радиointерфейсов именно этих технологий.

Спецификация 802.16e технологии WiMAX впервые была утверждена в 2005 году. С тех пор в 2009 были внесены некоторые поправки к стандарту 802.16e, а в 2011 году IEEE официально утвердил стандарт IEEE 802.16m также известный, как Wireless MAN – Advanced Air Interface или WiMAX-2 [10]. Однако пока на рынке присутствуют, в основном, продукты с поддержкой 802.16e, поэтому сравнение LTE будем проводить с уже реализуемым стандартом 802.16e.

Технология LTE была стандартизована на два года позже WiMAX. В ней учтены и исправлены ошибки, взяты лучшие принципы. Кроме того, за два года появились новые эффективные алгоритмы обработки сигналов, что позволило реализовать в LTE передовые технологии. Проведем сравнение радиointерфейсов WiMAX 802.16e и LTE Release по их важнейшим свойствам.

Многостанционный доступ. На линии «вниз» технологии LTE и линиях «вверх» и «вниз» технологии WiMAX используется OFDMA – многостанционный доступ на базе ортогонального частотного мультиплексирования (OFDM) [5].

Линия «вверх» обеих технологий отличается намного меньшим энергетическим бюджетом. Поэтому для маломощных абонентских терминалов энергетическая эффективность схемы модуляции является одним из приоритетов. Известным недостатком OFDM, где радиосигнал образуется суперпозицией множества независимо модулируемых несущих, является высокое отношение пиковой мощности сигнала к его средней мощности, называемое пик-фактором. В связи с этим для линии «вверх» в LTE предложена технология SC-FDMA (Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access) мультиплексирование на одной несущей. В отличие от схемы OFDMA, в которой на каждой поднесущей одновременно передается целый модуляционный символ, все поднесущие SC-FDMA модулируются одним и тем же символом (рис.1). Иначе говоря, в OFDMA символы данных передаются параллельно, а в SC-FDMA – последовательно. Это заметно снижает пик-фактор формируемых на передачу сигналов, а также смягчает требования к динамическому диапазону и степени линейности

выходной характеристики усилителя мощности. В результате этого усилитель может работать в более эффективном режиме и с более высоким КПД [4].

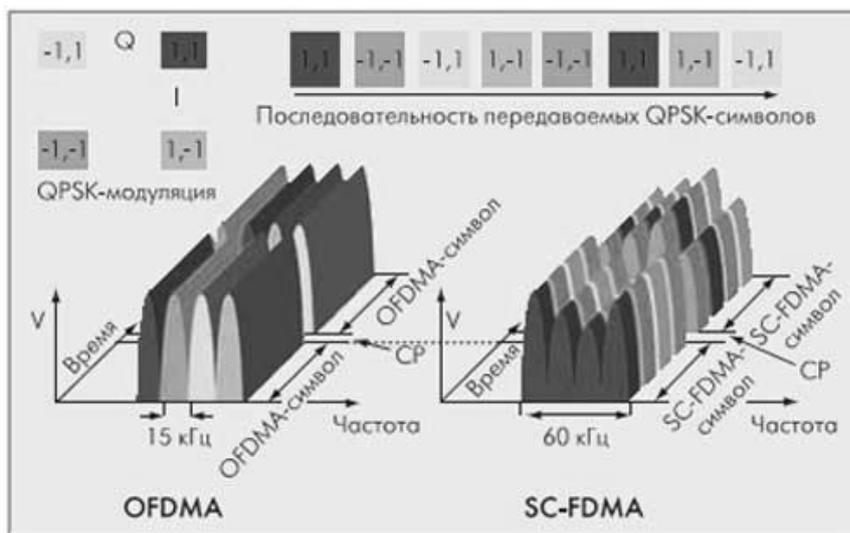


Рис.1. OFDMA и SC-FDMA технологии [4]

Организация канальных ресурсов. В технологии WiMAX ресурсы выделяются пользователям слотами, формируемыми из поднесущих и символов OFDM [9]; при этом применяется метод расстановки поднесущих PUSC (Partial Usage of Subcarriers). Поднесущие объединяются в субканалы, распределенные по всей несущей: на линии вниз 1 субканал = 24 поднесущие данных + 4 пилот-поднесущих (доля пилот-поднесущих 14,2 %); на линии вверх 1 субканал = 16 поднесущих данных + 8 пилот-поднесущих (доля пилот-поднесущих 33,3 %).

В LTE пользователям выделяются ресурсные блоки по 12 соседних поднесущих \times 1 субкадр. 1 ресурсный блок = 12 поднесущих \times 14 символов OFDM = 168 ресурсных элементов. Тот факт, что в пределах одного ресурсного блока, 180 кГц, поднесущие коррелированы, позволяет сократить количество пилот-поднесущих для оценивания канала на приемной стороне. На линии вниз в режиме MIMO 2x2 в каждом ресурсном блоке под пилоты резервируется 16 позиций из доступных 168 (доля пилотов – 9,5 %). На линиях вверх и вниз размер ресурсного блока совпадает – 168 ресурсных элементов. На линии вверх под пилоты выделяются 36 позиций (доля пилотов – 21,4 %). Таким образом, доля пилот-поднесущих в LTE в 1,5 раза меньше, чем в WiMAX [7].

Диспетчеризация частотных ресурсов. В WiMAX диспетчеризация ресурсов в частотной области осуществляется по принципу “frequency diversity scheduling”, поднесущие, выделяемые пользователю, распределены по всему спектру канала. Делается это для рандомизации и усреднения влияния частотно-селективных замираний на широкополосный канал [4].

В LTE реализована другая техника борьбы с частотно-селективными замираниями: частотно-селективная диспетчеризация ресурсов (frequency selective scheduling). Для каждой абонентской станции UE (User Equipment) и каждого частотного блока несущей формируются индикаторы качества канала CQI (Channel Quality Indicator). В зависимости от требуемой для UE скорости передачи данных базовой станцией принимается решение о количестве ресурсных блоков, выделяемых тому или иному пользователю, а какие именно частотные блоки выделять пользователям зависит от CQI. Пользователям выделяются те ресурсные блоки, которые обладают наивысшим CQI, а значит, наилучшим отношением сигнал/шум. Такой способ распределения ресурсов между пользователями дает заметный энергетический выигрыш по сравнению с рандомизированной раздачей частотных ресурсов [8].

Гибридная процедура повторной передачи по запросу. В обеих системах используется процедура повторной передачи HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest). Благодаря упро-

щенной архитектуре LTE (в подсистеме WiMAX, как правило, есть контроллер базовых станций, а в LTE он отсутствует – рис.2) сократилось время на обработку пакетов до 10 мс, против 30 мс в WiMAX. Также, для объединения повторно переданных пакетов в этих технологиях используются разные процедуры: «Chase combining» – в WiMAX и «Incremental redundancy» – в LTE. В процедуре «Chase combining» осуществляется простое повторение пакетов, а в приемном устройстве накапливается энергия при каждой повторной передаче. В процедуре «Incremental redundancy» при каждой последующей повторной передаче меняется шаблон выкалывания бит в процессе турбокодирования. В декодирующем устройстве при каждой последующей передаче увеличивается число проверочных бит в декодируемом пакете. Второй метод гораздо эффективнее и дает заметный энергетический выигрыш [7].

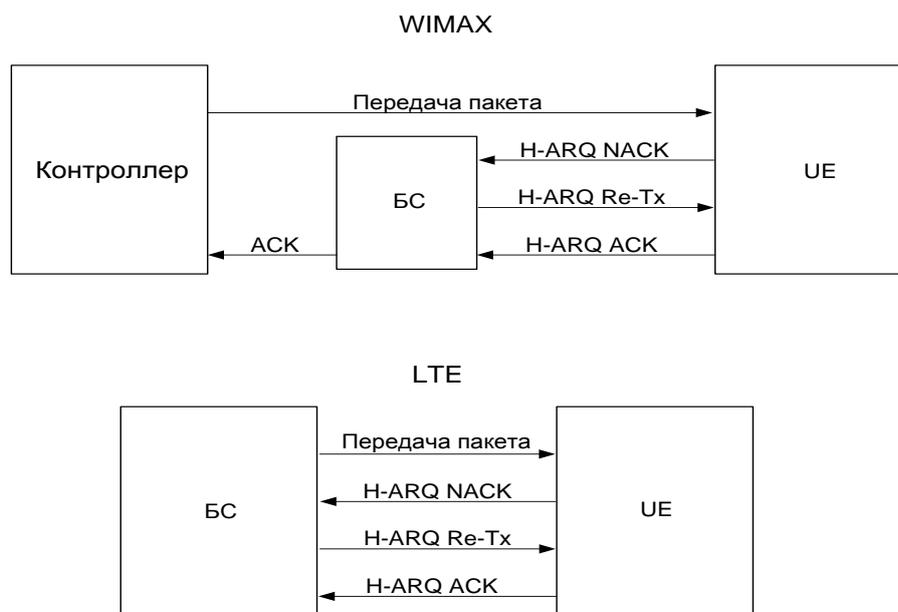


Рис.2. Процедуры HARQ в WiMAX и LTE

Адаптация системы к характеристикам канала. В современных системах радиодоступа можно максимально учесть условия распространения радиоволн в канале связи и адаптироваться к ним путем выбора наиболее подходящей схемы модуляции и кодирования MCS (Modulation and Coding Scheme). Квадратурная амплитудная модуляция QPSK/16QAM/64QAM может комбинироваться с помехоустойчивым кодированием с различными скоростями. В LTE доступны 29 схем MCS, выбирается та, которая в данных условиях распространения радиоволн обеспечивает максимальную пропускную способность. Точность настройки на канал в зависимости от отношения сигнал/шум составляет 1 – 2 дБ. При высоком отношении сигнал/шум может использоваться скорость кодирования, близкая к 1. В WiMAX число схем MCS в несколько раз меньше, точность настройки на канал более грубая – 2 – 3 дБ [11].

Управление мощностью. В любой сотовой сети поддерживаются процедуры управления мощностью передатчиков абонентских станций для борьбы с замираниями и компенсации потерь на линии. В классическом алгоритме мощность излучения пользовательских сигналов должна устанавливаться такой, чтобы уровни сигналов различных пользователей поступали на вход приемника базовой станции с отношением сигнал/шум, равным некоторому пороговому значению. Именно такой алгоритм используется в WiMAX [3].

В LTE применяется модифицированный алгоритм – частичное управление мощностью FPC (Fractional Power Control). Пороговое отношение сигнал/шум меняется для пользователей в зависимости от их положения внутри соты: чем ближе UE к базовой станции, тем выше порог отношения сигнал/шум как критерий регулировки мощности. Следовательно, вблизи

базовой станции UE работает с более высоким отношением сигнал/шум, с более высокой скоростью кодирования и кратностью модуляции, а значит, с более высокой спектральной эффективностью. Кроме того, работая с повышенной мощностью, UE может справляться с внутрисистемной интерференцией – подавлять соканальные помехи. Кроме того, каждая базовая станция LTE контролирует уровень помех от соседних сот. Базовые станции периодически обмениваются индикаторами перегрузки OI (Overload Indicator), указывающими, в каком ресурсном блоке уровень помех превышает пороговое значение. Индикатор OI формируется по результатам измерения базовой станцией уровней помех и фонового шума для каждого частотного блока в соте. Параметры управления мощностью устанавливаются в зависимости от принятого OI: если для какого-либо блока указывается высокий уровень помех, то базовая станция передает команду снизить мощность UE, излучающего в данном ресурсном блоке [6].

Коэффициент переиспользования частот. Базовая схема переиспользования частот WiMAX строится на трех частотных каналах. При трехсекторной конфигурации сайтов в каждом из секторов используется один из трех частотных каналов (рис. 3). Коэффициент переиспользования частот в данном случае равен 3.

Работа сети LTE осуществляется с коэффициентом переиспользования частот 1, т.е. все базовые станции работают на одной несущей. Внутрисистемные помехи в данной системе минимизируются благодаря частотно-селективной диспетчеризации, координации помех между сотами, гибкому частотному плану. На рис. 3, справа, показан один из вариантов гибкого частотного плана. Для пользователей в центре любой соты могут выделяться ресурсы из всей полосы канала (серая зона). Пользователям на краях сот выделяются ресурсы только из определенных поддиапазонов. Таким образом, в каждой соте известно, в каком поддиапазоне концентрируются помехи на ее границах. Положение UE, на краю соты или вблизи базовой станции, идентифицируется по периодическим отчетам UE об уровнях сигналов соседних сот (для поддержки хэндовера) [7].

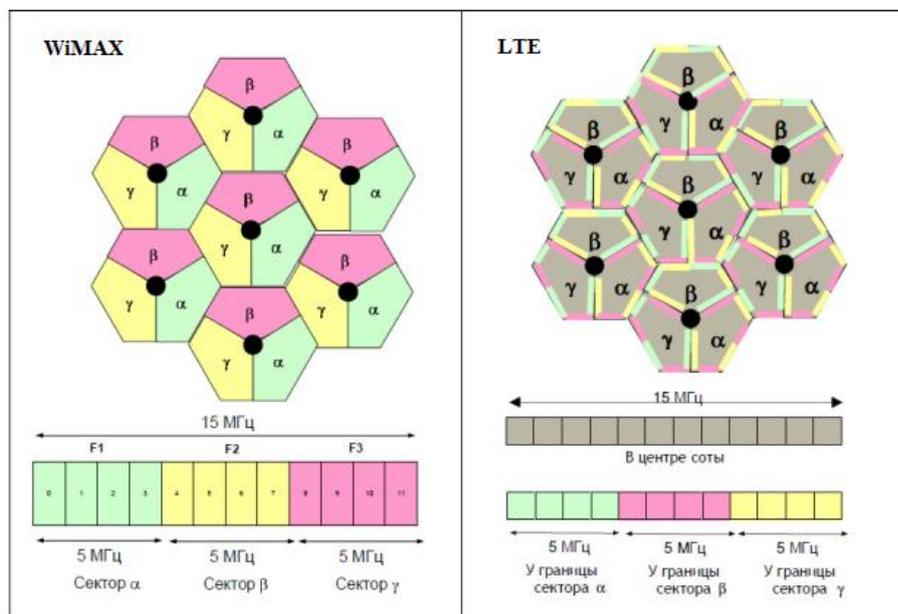


Рис.3. Коэффициент переиспользования частот в сетях WiMAX и LTE [9]

Средняя пропускная способность соты. В таблице представлены результаты вычисления средней пропускной способности в сети, при следующей конфигурации: расстояние между сотами – 500 м, в среднем число активных пользователей в соте – 10, потери при проникновении в здание – 20 дБ [7].

Как видно из таблицы, пропускная способность соты LTE на линиях «вниз» и «вверх» выше, чем пропускная способность WiMAX. По сравнению с ранее разработанными систе-

мами 3G радиointерфейс LTE обеспечивает улучшенные технические характеристики, включая максимальную скорость передачи данных, время задержки пересылки пакетов менее 10 мс, а также значительно более высокую спектральную эффективность.

Параметр	LTE/ 3GPP Rel.8	WiMAX/ IEEE 802.16e
Конфигурация сети	15 МГц, коэф. переисп. частот 1, ширина канала в секторе 15 МГц, соотношение TDD 1:1, MIMO 2x2	15 МГц, коэф. переисп. частот 3, ширина канала в секторе 5 МГц, соотношение TDD 3:2, MIMO 2x2
Средняя пропускная способность соты на линии «вверх»	11,8 Мбит/с (пиковая – 60 Мбит/с)	5 Мбит/с (пиковая – 13,5 Мбит/с)
Средняя пропускная способность соты на линии «вниз»	4,8 Мбит/с (пиковая – 20 Мбит/с)	1,5 Мбит/с (пиковая – 5 Мбит/с)

Системы LTE могут быть задействованы как в новых, так и в уже имеющихся у операторов частотных полосах. Радиointерфейс LTE позиционируется в качестве решения, на которое операторы будут постепенно переходить с нынешних систем стандартов 3GPP и 3GPP2, а его разработка является важным этапом в процессе создания стандарта IMT-Advanced (на сети 4G). Фактически спецификация LTE уже содержит большую часть функций, изначально предназначавшихся для систем 4G.

Направления совершенствования сетей LTE с MIMO

Дальнейшее улучшение характеристик качества связи в сетях LTE связано с использованием MIMO систем. При этом обеспечивается существенное повышение пропускной способности, особенно на больших расстояниях от точки доступа к сети, либо снижение число ошибок при радиообмене данными без снижения скорости передачи в условиях множественных переотражений сигналов. MIMO обеспечивают также расширение зон покрытия и сглаживание в них мертвых зон, увеличение пропускной способности каналов связи за счет формирования систем обработки сигналов, использующих пространственно-временное, частотное и поляризационное разделение каналов, а также сверхразрешение по направлению прихода сигналов в приемник. В свою очередь, полнота реализации указанных технических решений зависит от эффективности использования каналов связи, а значит от способности системы связи адаптироваться к реальным быстро меняющимся особенностям широкополосных беспроводных каналов связи. Наибольшим препятствием при этом являются множественные каналы с замираниями, особенно в случае отсутствия прямой видимости.

Направления совершенствования систем LTE с MIMO зависят от выбора метода адаптации системы к изменяющимся характеристикам беспроводного канала, который, в свою очередь, зависит от наличия или отсутствия прямой видимости (см. рис. 4). В зависимости от этого задачи адаптации решаются по-разному.

В MIMO системах для разделения каналов применяется пространственно-временное или пространственно-частотное кодирование. Пространственно-частотное кодирование значительно сложнее и требует большего частотного ресурса, поэтому пространственно-временное кодирование более широко используется в MIMO.

Важным направлением развития систем с MIMO является их адаптация к изменениям параметров канала, обеспечивающая наиболее полную реализацию имеющегося пространственного и частотного ресурса. Однако, по нашему мнению, вопросы адаптации систем LTE с MIMO к реальным условиям связи исследованы недостаточно.

Будущие системы с множественными антеннами должны использовать все ресурсы временной и частотной, пространственно-временной и пространственно-частотной областях,

чтобы минимизировать передаваемую мощность и, в то же время, увеличивать пропускную способность системы связи путем адаптации к состоянию радиоканала.

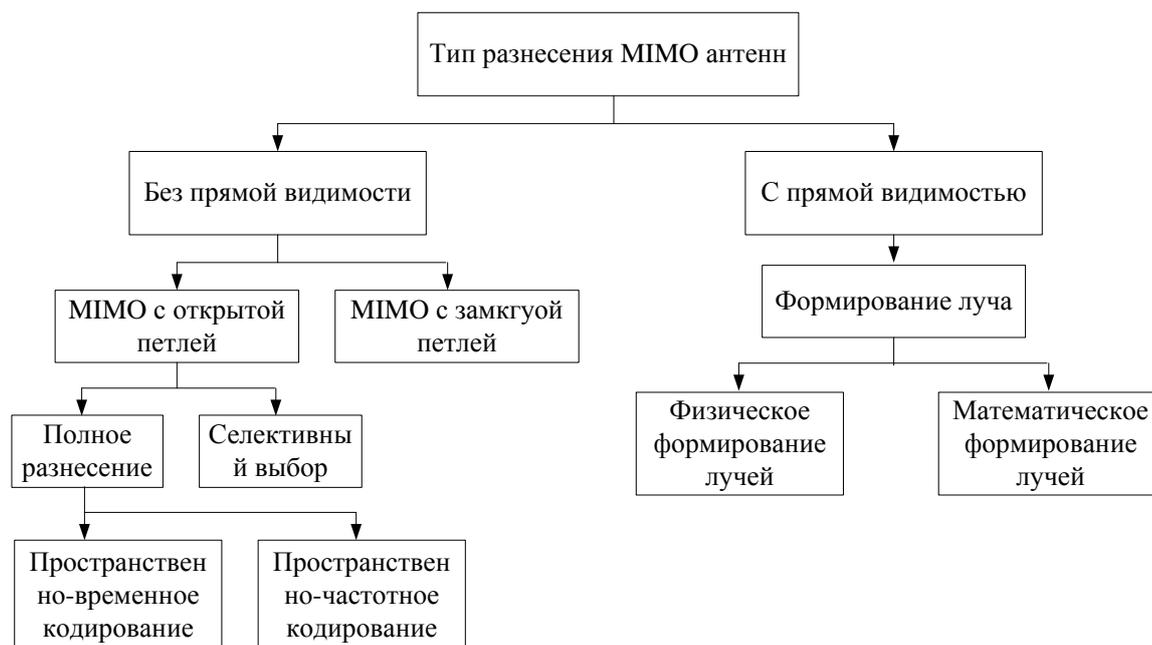


Рис.4. Направления совершенствования систем LTE с ММО

Выводы

К настоящему времени разработано большое число методов повышения качества связи в сетях LTE, основанных на более полном использовании частотного и пространственного ресурса, а также цифровой обработки сигналов. Например, применение многопозиционных методов модуляции, реализуемое во временной области, позволяет существенно увеличить скорости передачи при фиксированной ширине частотного канала, а использование OFDM – сохранить повышенную устойчивость связи в условиях многолучевого распротранения и межсимвольной интерференции без привлечения дополнительного частотного ресурса.

Использование адаптивной модуляции в каналах ММО обеспечивает приспособление системы связи к изменению сигнально-помеховой обстановки. Выигрыш в отношении сигнал/шум может достигать 15 – 20 дБ при незначительном снижении скорости передачи информации. Система связи с адаптацией в каналах ММО менее чувствительна к изменению скорости терминала, что важно для мобильных систем связи.

Список литературы: 1. Гепко И.А., Олейник В.Ф. и др. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития. – К.: ЕКМО, 2009. – 672 с. 2. Ханцо Л.Л., Блох Дж., Ни С. Системы радиодоступа 3G, HSPA и FDD в сравнении с технологией TDD. – М.: Техносфера, 2012.– 671 с. 3. Валентинова М. Wi-Fi микросхемы // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2005. – № 15. -С. 36-41. 4. ITU-R M.1457-8 Detailed specifications of the radio interfaces of International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000). 5. Ergen M. Mobile Broadband – Including WiMAX and LTE. – Springer, 2009. – 336 с. 6. 3GPP TS 36.213. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer Procedures (Rel. 8). 7. Sesia S., Toufik I, Baker M. LTE – The UMTS Long Term Evolution. From Theory to Practice/John Wiley & Sons Ltd, 2009. – 611p. 8. Al-Janabi H.D. Improving the performance of LTE technology with MIMO and OFDM / H.D. Al-Janabi, Z. Vadia // Проблемы телекоммуникаций. – 2011. – № 3 (5). – С. 67 – 77. – Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2011/3/1/113_hussam_lte.pdf 9. Варукина, Л.А. Производительность сети TD-LTE в сравнении с WiMAX / Л. Варукина – Режим доступа: http://www.mforum.ru/arc/20100722_Varukina_TDLTEvsWiMAX_MForum.pdf. 10. Sassan Ahmadi An overview of next-generation mobile WiMAX technology // IEEE Commun. Mag, vol. 47, no. 6, pages 84-98, June 2009. 11. WiMAX Forum, WiMAX Forum Mobile System Profile. V1.2.0, Sept. 2006.