

Турянский К.М. (ВИТИ НТУУ “КПИ”)

Калитнык М.С. (ВИТИ НТУУ “КПИ”)

Гасимов Э.В. (ВИТИ НТУУ “КПИ”)

к.т.н., проф. РАЕ Козубцов И.Н. (НЦЗИ ВИТИ НТУУ “КПИ”)

LTE – ТЕХНОЛОГИЯ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ 4G

Актуальность работы заключается в том, что при бурном развитии технологий широкополосной беспроводной связи многие из них описаны в многочисленных отечественных и зарубежных работах. Однако практически отсутствуют изложения принципов технологии Super 3G или Long-Term Evolution (LTE), широкое внедрение которой вот-вот начнется во многих странах мира.

Целью этой работы есть рассмотрение необходимости создания мобильных сетей, которые 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 на базе технологии LTE.

Беспроводные цифровые коммуникации, бурно стартовав, продолжают развиваться чрезвычайно быстро. Этому способствует неуклонный прогресс в микроэлектронике, позволяющий выпускать все более сложные и при этом – все более дешевые – средства беспроводной связи. Бум сотовой связи, сравнимый лишь с ростом производства персональных компьютеров и развитием Интернета, не замедляется уже четверть века. Мобильных телефонов во всем мире уже значительно больше, чем обычных проводных телефонных аппаратов. Быстрыми темпами развиваются персональные и локальные сети, широко внедряются беспроводные сети регионального масштаба. Низкая стоимость, быстрота развертывания, широкие функциональные возможности по передаче данных, телефонии, видеопотоков делают беспроводные сети одним из основных направлений развития телекоммуникационной индустрии.

Развитие беспроводной связи сопровождается непрерывной сменой технологий, в основе которых лежат стандарты сотовой связи GSM и CDMA, а также стандарты систем передачи данных IEEE 802. Исторически технологии беспроводной связи развивались по двум независимым направлениям – системы телефонной связи (сотовая связь) и системы передачи данных (Wi-Fi, WiMAX). Но в последнее время наблюдается явная тенденция к слиянию этих функций. Более того, объем пакетных данных в сетях сотовой связи третьего поколения (3G) уже превышает объем голосового трафика, что связано с внедрением технологий HSPA. В свою очередь, современные сети передачи информации обязательно обеспечивают заданный уровень качества услуг (QoS) для различных видов трафика. Реализуется поддержка приоритезации отдельных потоков информации, причем как на сетевом/транспортном уровнях (на уровне TCP/IP), так и на MAC-уровне (стандарты IEEE 802.16). Это позволяет использовать их для оказания услуг голосовой связи, передачи мультимедийной информации и т.п.

В связи с этим само понятие сетей следующего, четвертого, поколения (4G) неразрывно связано (если не синонимично) с созданием универсальных мобильных мультимедийных сетей передачи информации. Сегодня две группы технологий явно нацелены на оказание универсальных услуг связи. Это WiMAX (как развитие линии IEEE

802) и технологии сотовой связи поколений "супер 3G". Причем каждая из них занимает свою нишу на обширном рынке беспроводной связи.

Технология фиксированного WiMAX (IEEE 802.16-2004) не оправдала возлагавшихся на нее надежд по быстродействию, объему зоны покрытия и ценовым характеристикам. Но операторы справедливо ожидают качественного прорыва от мобильного WiMAX (IEEE 802.16e), который уже начал активно внедряться во всех странах мира, включая Россию.

Технологии 3G уже широко используются операторами сотовой связи во всем мире. Они развиваются по двум направлениям – линия UMTS (WCDMA) и линия CDMA (cdma200). Например, российский сотовый оператор "МегаФон" в 2008 году в Санкт-Петербурге начал коммерческую эксплуатацию сети из 45 базовых станций на основе технологии UMTS/HSPA. МТС предоставляет услуги широкополосного мобильного доступа в Интернет на базе технологии 3G в восьми крупных городах России. Еще раньше ОАО "Московская Сотовая Связь" под торговой маркой "Скай Линк" развернуло сети по технологии CDMA20001X EV-DO в диапазоне 450МГц на территории 31 субъекта РФ.

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 частности, в LTE ширина полосы пропускания может варьироваться от 1,4 до 20 МГц (по более ранним источникам – от 1,25 МГц), что позволит удовлетворить потребностям разных операторов связи, обладающих различными полосами пропускания. При этом оборудование LTE должно одновременно поддерживать не менее 200 активных соединений (т.е. 200 телефонных звонков) на каждую 5-МГц ячейку. LTE улучшит эффективность использования радиочастотного спектра, т.е. возрастет объем данных, передаваемых в заданном диапазоне частот. LTE позволит достичь внушительных агрегатных скоростей передачи данных – до 50 Мбит/с для восходящего соединения (от абонента до базовой станции) и до 100 Мбит/с для нисходящего соединения (от базовой станции к абоненту) (в полосе 20 МГц). При этом должна обеспечиваться поддержка соединений для абонентов, движущихся со скоростью до 350км/ч. Зона покрытия одной БС – до 30 км в штатном режиме, но возможна работа с ячейками радиусом более 100км. Поддерживаются многоантенные системы MIMO [1].

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 перехода к сетям четвертого поколения 4G. Фактически спецификация LTE уже содержит большую часть функций, изначально предназначавшихся для систем 4G, поэтому ее иногда именуют "технологией 3,9G".

Применение OFDM в сочетании с циклическим префиксом делает связь устойчивой к временной дисперсии параметров радиоканала, в результате на приемной стороне становится не нужным сложный эквалайзер. Это очень полезно для организации нисходящего канала, поскольку упрощается обработка сигнала приемником, что снижает стоимость терминального устройства и потребляемую им мощность.

В восходящем канале допустимая мощность излучения значительно ниже, чем в нисходящем. Поэтому первичным становится энергетическая эффективность метода передачи информации с целью увеличения зоны покрытия, снижения стоимости терминального устройства и потребляемой им мощности.

Основной недостаток технологии OFDMA – высокое соотношение пиковой и средней мощности сигнала (PAR). Это связано с тем, что во временной области спектр OFDM-сигнала становится аналогичным Гауссову шуму, характеризующемуся высоким

PAR. Кроме того, сама по себе технология OFDMA, с учетом необходимости минимизировать шаг между поднесущими и сокращать относительную длительность CP, предъявляет очень высокие требования к формированию композитного сигнала. Мало того, что частотные рассогласования между передатчиком и приемником и фазовый шум в принимаемом сигнале могут привести к межсимвольной интерференции на отдельных поднесущих (т.е. к интерференции между сигналами различных абонентских каналов). При малом шаге между поднесущими к аналогичным последствиям может привести и эффект Доплера, что очень актуально для систем сотовой связи, предполагающих высокую мобильность абонентов.

В связи с этим для восходящего канала LTE была предложена новая технология – SC-FDMA (Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access). Принципиальное ее отличие – если в OFDMA на каждой поднесущей одновременно передается свой модуляционный символ, то в SC-FDMA поднесущие модулируются одновременно и одинаково, но модуляционные символы короче. То есть в OFDMA символы передаются параллельно, в SC-FDMA – последовательно. Такое решение обеспечивает меньшее отношение максимального и среднего уровней мощности по сравнению с использованием обычной модуляции OFDM, в результате чего повышается энергоэффективность абонентских устройств и упрощается их конструкция (существенно снижаются требования к точности частотных параметров передатчиков).

Структура SC-FDMA-сигнала во многом аналогична технологии OFDM. Так же используется композитный сигнал – модуляция множества поднесущих, расположенных с шагом Δf . Принципиальное отличие в том, что все поднесущие модулируются одинаково – т.е. единовременно передается только один модуляционный символ (рис. 1) [2].

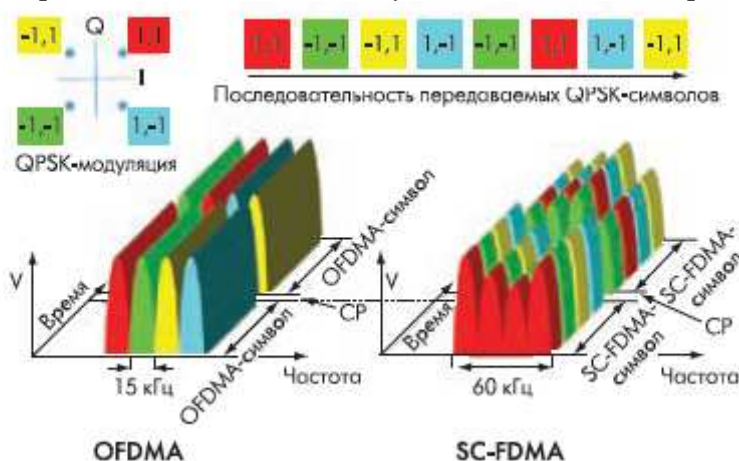


Рис.1. Различие между OFDMA и SC-FDMA при передаче последовательности QPSK-символов

При этом ресурсная сетка полностью аналогична нисходящему каналу. Так же каждый физический ресурсный блок, соответствующий слоту, занимает 12 поднесущих с шагом $\Delta f = 15\text{кГц}$ в частотной области (всего 180 кГц) и 0,5мс – во временной. Ресурсному блоку соответствуют 7SC-FDMA-символов при стандартном циклическом префиксе и 6 – при расширенном. Длительность SC-FDMA-символа (без префикса) равна длительности OFDMA-символа и составляет 66,7мкс (длительности соответствующих циклических префиксов также равны). В сетке может быть от 6 до 110 ресурсных блоков, но их число должно быть кратно 2; 3 или 5, что связано с процедурой дискретного Фурье-преобразования. Еще одна особенность – поддержка модуляции 64-QAM в АУ опциональна.

Каждому абоненту сети для передачи данных от базовой станции с помощью функции планирования на определенное время выделяется определенное число ресурсных блоков. Расписание передается абонентам по служебным каналам в нисходящем радиоканале.

Однако если при OFDMA один модуляционный символ (QPSK, 16- или 64-QAM) соответствует OFDM-символу на одной поднесущей (15 кГц, 66,7 мкс), то при SC-OFDMA ситуация иная. В частотном плане ширина модуляционного символа оказывается равной всей доступной полосе частот (он передается на всех поднесущих одновременно). При этом один SC-FDMA-символ содержит несколько модуляционных символов – в идеале столько же, сколько поднесущих – но в соответствующее число раз более коротких по сравнению с OFDMA, что полностью отвечает условиям теоремы Котельникова-Шеннона.

Сама процедура формирования SC-FDMA-сигнала отличается от схемы OFDMA. После канального кодирования, скремблирования и формирования модуляционных символов они группируются в блоки по M символов – субсимволов SC-FDMA (рис.2) [2]

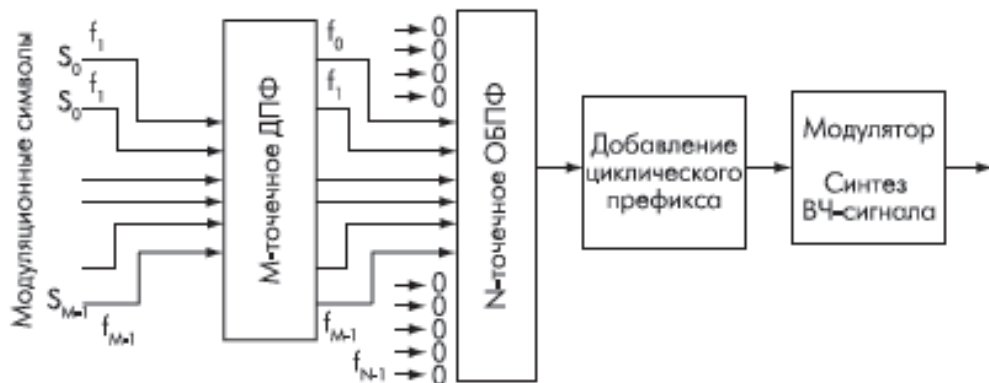


Рис.2. Особенность формирования выходного сигнала в случае SC-FDMA.

Очевидно, что непосредственно отнести их на поднесущие с шагом 15 кГц невозможно – требуется в N раз более высокая частота, где N – это число доступных для передачи поднесущих. Поэтому, сформировав группы по M модуляционных символов ($M < N$), их подвергают M -точечному дискретному Фурье-преобразованию (ДПФ), т.е. формируют аналоговый сигнал. А уже затем с помощью стандартной процедуры обратного N -точечного Фурье-преобразования синтезируют сигнал, соответствующий независимой модуляции каждой поднесущей, добавляют циклический префикс и генерируют выходной ВЧ-сигнал. В результате такого подхода передатчик и приемник OFDMA- и SC-FDMA-сигналов имеют схожую функциональную структуру.

Отметим, что АУ может использовать как фиксированный частотный диапазон (используются смежные ресурсные блоки, т.е. смежные поднесущие), так и распределенный – так называемый режим скачкообразной перестройки частоты (FH). В последнем случае для каждого слота восходящего канала используется новый ресурсный блок из доступной ресурсной сетки. Параметры перестройки частоты задаются сетевым оборудованием и сообщаются как при инициализации абонентской станции в сети, так и по ходу работы в канале управления. В случае распределенного способа – информация от каждого абонента распложена во всем спектре сигнала (рис.3) [2],

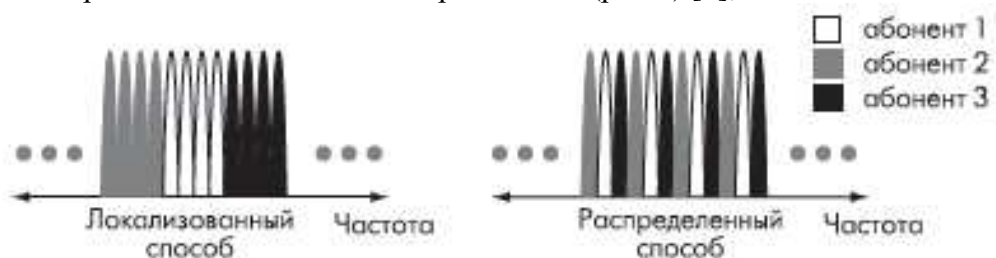


Рис.3. Способы распределения поднесущих в SC-FDMA.

поэтому данный способ устойчив к частотно-избирательному замиранию. С другой стороны, при локализованном способе распределения возможно определить полосу, в которой для данного абонента достигается максимальная устойчивость канала к замираниям. Поскольку области замирания сигнала для всех абонентов различны, то можно достичь общую максимальную эффективность использования радиоканала. Однако это требует непрерывного сканирования частотной характеристики канала для каждого устройства и организации функции диспетчеризации.

Помимо собственно информации, генерируемой функциями верхних уровней, в восходящем канале передаются опорные сигналы. Их назначение – помочь приемнику БС настроиться на определенный передатчик АУ. Кроме того, эти сигналы позволяют оценить качество канала, что используется в БС при диспетчеризации ресурсов. Опорные сигналы в восходящем канале бывают двух видов – так называемые "демодулированные" и зондовые (sounding). Демодулированные опорные сигналы аналогичны опорным сигналам нисходящего канала. Они передаются на постоянной основе. Так, в общем информационном канале последовательность демодулированного опорного сигнала передается в четвертом SC-FDMA-символе каждого слота при стандартом CP. Зондовые сигналы аperiодичны. Их основное назначение – дать БС возможность оценить качество канала, если передача еще не ведется [2].

Таким образом, технология LTE целиком подходит под характеристику “технологий завтрашнего дня”. Быстрая скорость, масштабируемость, устойчивость к помехам, приспособленность к сложным условиям передачи сигнала, все это великолепно согласуется с современными требованиями к мультисервисным сетям. Готовность использовать эту технологию подтверждают операторы и производители базовых станций и клиентских терминалов. Вопрос “последней мили” (а в наших условиях она же и первая), актуален и великолепно решается с помощью LTE. Внедрение технологии LTE позволяет операторам уменьшить капитальные и операционные затраты, снизить совокупную стоимость владения сетью, расширить свои возможности в области конвергенции услуг и технологий, повысить доходы от предоставления услуг передачи данных.

Литература

1. Вишнеvский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – М.: Техносфера, 2005 – 592с.
2. Дальман Э., Фурускар А., Ядинг И. Радиоинтерфейс LTE в деталях. – Сети и Системы связи, 2008, № 9 с.77-81.