

УДК 621.396

Сундучков А.К., нач. лаб. (компания Global Logic, США, Украина)

ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ УСЛУГ 4G В МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Сундучков А.К. Проблеми якості надання телекомунікаційних послуг 4G в мобільному зв'язку. У роботі на прикладі інтерактивної гетерогенної телекомунікаційної мережі, що доставляє сигнали телекомунікаційних послуг 4G мобільним абонентам, що рухаються зі швидкістю до 200 км/год, розглянуті проблемні питання забезпечення якості надання вказаних послуг.

Ключові слова: МОБІЛЬНИЙ ЗВ'ЯЗОК, ЦИФРОВА ОБРОБКА СИГНАЛІВ, ТЕХНОЛОГІЯ OFDM, ЯКІСТЬ ПОСЛУГ

Сундучков А.К. Проблемы качества предоставления телекоммуникационных услуг 4G в мобильной связи. В работе на примере интерактивной гетерогенной телекоммуникационной сети, доставляющей сигналы телекоммуникационных услуг 4G мобильным абонентам, движущимся со скоростью до 200 км/ч, рассмотрены проблемные вопросы обеспечения качества предоставления указанных услуг.

Ключевые слова: МОБИЛЬНАЯ СВЯЗЬ, ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ, ТЕХНОЛОГИЯ OFDM, КАЧЕСТВО УСЛУГ

Sunduchkov A.K. The problems of issue quality of 4G telecommunication services in mobile communication. In this paper on the example of the network, which delivers 4G services signals to mobile users moving at speeds up to 200 km/h, the issue of this services quality are considered. The architecture of such network building is schematically shown. The key quality principles of transmission 4G service to mobile terminals moving at speeds up to 200 km/h are defined.

Keywords: MOBILE COMMUNICATIONS, DIGITAL SIGNAL PROCESSING, OFDM-TECHNOLOGY, QUALITY OF SERVICES

Введение. Качество популярных сервисов широкополосных телекоммуникационных услуг 4G можно оценить такими параметрами как целостность и своевременность доставки, которые характеризуются вероятностью битовой ошибки, битовой скоростью доставки, задержкой сигнала и т.п. Вероятность битовой ошибки определяют через отношение мощности сигнала к мощности шумов на входе приемника-декодера, которое зависит от межсимвольной и межканальной интерференции, затухания сигнала, влияния эффекта Доплера, насыщения приемника и т.п. Битовая скорость зависит от полосы рабочих частот, от выбора типа модуляторов, длительности OFDM-символов, количества поднесущих в OFDM-символе, длительности защитного временного интервала и др.

Для обеспечения высокого качества предоставления телекоммуникационных услуг 4G мобильным абонентам необходимо сбалансировать значения перечисленных параметров адаптировать их к условиям приема сигналов.

В работе рассматривается сеть, которая строится по топологии «асимметричный интернет» [1]. Роль запросного канала выполняет мобильная сеть общего пользования. Проблемные вопросы построения “прямого” канала обсуждаются ниже.

Проблемы, которые требуют решения. Технология OFDM позволяет в приемнике из группового спектра всех услуг, сигналы которых передаются базовой станцией, выделить адресные услуги (прямое преобразование Фурье). Проблемным вопросом цифровой обработки принятых мобильным терминалом (МТ) сигналов прямого канала является сверхширокая совокупная полоса частот всех услуг, которая значительно больше, чем полоса рабочих частот элементной базы цифровой обработки сигналов, работающая в диапазоне частот ниже 1 ГГц. Требуемая пропускная способность на участке беспроводного доступа сети для 2000 абонентов может составить десятки Гбит/с. При скорости передачи сигнала каждой услуги равной 12 Мбит/с получаем требуемую пропускную способность, равную 24 Гбит/с. При использовании модуляции КАМ64 ($k = 6$) занимаемая полоса рабочих частот группового спектра составит 4 ГГц. Несущая частота с такой полосой рабочих частот находится в миллиметровом диапазоне частот [2, 3]. В миллиметровом диапазоне радиус соты одной базовой станции (БС) составляет сотни метров. На один километр трассы

автобана необхідно устанавлювати несколько БС. Общее число БС для всей трассы составит несколько тысяч штук. Снижение стоимости БС становится актуальной задачей.

На участке беспроводного доступа к МТ, движущимся со скоростью 200-300 км/ч, проблемой становится и организация хэндовера. Кроме того, проблема устранения межсимвольной и межканальной интерференции на участке беспроводного доступа, обусловленная многолучевостью и проявлением эффекта Доплера ставит ряд трудноразрешимых задач. Пристальное внимание следует уделить параметрам (задержки и мощности) сигналов, которая зависит не только от топологии сети доставки сигналов к БС. Необходимо также обеспечить одинаковую абсолютную величину мощности сигналов, поступающих на участок беспроводного доступа ко всем БС. Для оценки эффективности сети необходимо разработать оценки эффективности.

Эффективность преодоления сетью межканальных помех. Наличие взаимной интерференции при работе на совпадающих частотных каналах (co-channel) не вызывает вопросов, а присутствие взаимной интерференцией на соседних (adjacent channel) и на непересекающихся по частоте каналах – далеко не очевидно.

Представим групповой сигнал при W поднесущих в OFDM, в многоканальной системе приема-передачи в виде:

$$S_{sp}(t) = \sum_{i=1}^W S_i(t). \quad (1)$$

Если приемник принимает и выделяет информацию в “своем” (информационном) j -ом канале, то все остальные ($W - 1$) каналы наводят в информационном j -ом канале помехи в виде шума. Обозначим $S_{sp,j}(t)$ – групповой сигнал из которого удалено одно слагаемое, характеризующее j -ый канал. Тогда возникающая шумовая помеха для сигнала j -го канала будет наводиться всеми остальными каналами.

Чем меньше проникает наведенный шум N в приемный канал, тем выше отношение сигнал/шум (C/N) и тем более эффективна сеть [4].

$$y_l = \frac{C}{N} = \frac{\sqrt{S_{s,i}^2 + S_{c,i}^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{W-1} [Z_{s,j,i}^2 + Z_{c,j,i}^2]}}. \quad (2)$$

Эффективность преодоления сетью влияния межсимвольных помех. Временные задержки импульсов поднесущих и их сложение с различными фазами на приемной стороне приводит к снижению (замираниям) в течении некоторого времени амплитуды поднесущих (burst time fading), которые в результате ортогональных преобразований трансформируются в замирания (burst frequency fading) поднесущих в некоторой полосе частотного спектра. Искажения поднесущих, получаемые вследствие замираний данного типа, получили название межсимвольной интерференции (Inter-Symbol Interference – ISI).

Защитный временной интервал в системах OFDM WiMAX стандарта IEEE 802.16 регулируется величиной Cyclic Prefix (CP), определяющей отношение между длительностью импульса поднесущей и защитным интервалом.

Как бы эффективно не работала система подавления межсимвольной интерференции, ошибки замираний все равно возникают. Для устранения этих и других ошибок применяется метод коррекции FEC (forward error correction), основанный на использовании избыточных кодов. Однако коррекция может быть применена для устранения только одиночных ошибок. В случае замираний обычно имеет место групповая ошибка, когда одновременно искажаются нескольких последовательно следующих друг за другом импульсов (burst) поднесущих. Для решения этой проблемы применяется метод устранения ошибок interleaving, когда в передатчике поднесущие OFDM перемешиваются в случайной порядке (рандомизация), а в приемнике их исходная последовательность восстанавливается. При

этом групповые искажения на приемной стороне разносятся по частотному спектру поднесущих, приобретая одиночный характер, и могут быть устранены применением корректирующих кодов FEC. Метод interleaving тем более эффективен, чем большее количество поднесущих включено в процесс рандомизации. Тем самым OFDM сигнал WiMAX вследствие большого количества поднесущих гораздо более устойчив к ошибкам вообще и ошибкам замирания сигналов в частности, по сравнению с OFDM системами Wi-Fi и preWiMAX.

Оценить эффективность преодоления сетью влияния межсимвольных помех можно с помощью коэффициента CP представленного следующим образом:

$$CP(\text{Cyclic Prefix}) = \Delta\tau_{\text{защ}} / \tau, \quad (3)$$

где $\Delta\tau_{\text{защ}}$ – длительность защитного интервала; τ – длительность тактового интервала (длительность импульса) поднесущей.

Если учесть, что битовая скорость передачи равна $V[\text{бит/сек}] = \frac{k \cdot W}{\tau}$, где $k = \text{const}$ – индекс модуляции, W – количество поднесущих, а при $V = \text{const}$ и при увеличении W , τ растет для каждой поднесущей.

Эффективность преодоления сетью влияния межсимвольных помех можно представить в следующем виде:

$$y_2 = CP = \frac{\Delta\tau_{\text{защ}}}{\tau} = \Delta\tau_{\text{защ}} \left/ \left[\frac{k \cdot W}{V} \right] \right. \quad (4)$$

Для эффективной борьбы с межсимвольными помехами при переотражениях (многолучевости) длительность защитного интервала $\Delta\tau_{\text{защ}}$ должна быть больше времени задержки прихода переотраженного сигнала.

Для условий офиса в локальных беспроводных сетях типичное время задержки составляет 20-200 нс, в системах BWA в условиях городской застройки – 5÷10 мкс, 0,2 мс в сельской местности. Ограничения на выбор параметров сети k , W , V и $\tau_{\text{зад}}$ для конкретных условий работы сети WiMAX определены стандартом IEEE 802.16.

Эффективность сети в части обеспечения высокой скорости передачи данных. Известно, что эффективность сети по критерию достигнутой битовой скорости передачи данных на 1 Гц используемой полосы частот растет при увеличении индекса модуляции K , количества поднесущих W в OFDM, количества поляризованных стволов S (ПС), количества стволов Q (MIMO).

Из перечисленного следует, что одним из параметров эффективности сети обеспечения высокой битовой скорости передачи данных может быть скорость $V[\text{бит/сек}]$, которую можно представить следующим выражением [4, 5]:

$$y_3 = V = \frac{k \cdot W}{\tau} \times S(\text{ПС}) \times Q(\text{MIMO}). \quad (5)$$

Не следует забывать о существовании влияния ограничений на эффективность сети по рассматриваемому параметру накладываемых энергетикой каналов, используемым ресурсом полосы рабочих частот, ценой оборудования, стоимостью частотного ресурса и т.п..

Эффективность сети по критерию минимальных затрат. Для оценки эффективности сети по критерию минимальных затрат необходимо определить стоимость составляющих ее частей. Так, на сегодняшний день одна станция системы WiMax, выполняющая модуляцию OFDM в передающем канале и демодуляцию поднесущих OFDM с последующей обработкой сигналов на рынке сегодня стоит 15-25 тыс. у.е. Она включает в себя модули обеспечения качества обслуживания, блоки модуляции QAM16,32,64, количество поднесущих 256 (из них для передачи данных используется 167).

Использование оборудования с 1667 поднесущих приводит к удорожанию на 20%.

Используемые в современных сетях маршрутизаторы, как правило, являются адаптивными и поддерживающими технологии IP/MPLS, IP/Ethernet, ATM.

Исходя из всего выше сказанного, в качестве базовой конфигурации можно принять станцию, поддерживающую технологии IP/MPLS, IP/Ethernet, ATM, модуляции. QAM16,32,64, и имеющую 167 поднесущих. Ее стоимость и примем за 1.

Добавление поляризационных стволов будет увеличивать стоимость на 25% для каждого дополнительного ствола. Использование технологии MIMO будет увеличивать стоимость решение пропорционально количеству повторений по данной технологии.

Если учесть, что предельные скорости передачи данных, рассматриваемые в данной работе, предполагается использование для передачи услуг 4G, то есть в перспективе, то к тому времени стоимость оборудования за счет технологического прогресса, возможно, снизится в 4 раза. Тогда для станции с разной архитектурой можно предположить следующие цены:

- базовая стоимость станции (БСС) будет равна 0.25;
- стоимость станции (СС) с поляризованными стволами будет равна $ССПС = (1 + (n-1) \times 0.25) \times БСС$, где n – количество поляризованных стволов (ПС) в станции;
- стоимость станции с n поляризованными стволами, повторенными m раз по технологии MIMO будет равна $m \times (1 + (n-1) \times 0.25) \times БСС$.

Поскольку с ростом цены на единицу оборудования эффективность сети по стоимостному параметру падает, то для оптимизации примем в качестве параметра обратное значение стоимостного параметра [5]:

$$y_4 = N \times \alpha \times (БСС \cdot 0,25) \times (1 + 0.25 \cdot (n - 1)) (ПС) \times m (MIMO) \quad (6)$$

Некоторые результаты исследования влияния эффекта Доплера на качество предоставляемых услуг. Для борьбы с межканальными помехами авторами разработана математическая модель их расчета, учитывающая эффект Доплера при скорости движения МТ от 40 до 3000 км/час. С помощью этой модели определены характер изменения отношения мощности сигнала в информационном канале к мощности шумов в нем (рис. 1) в зависимости от скорости движения МТ, количества поднесущих частот в OFDM-символе, наличия автоматической подстройки частоты (АПЧ) гетеродинного сигнала (рис. 2). Для скорости движения МТ равной 200...300 км/час, при числе учитываемых поднесущих равном 256 отношение $P/P_{ш} \approx 18$ дБ, а выигрыш от системы АПЧ составляет 3...4 дБ [6].

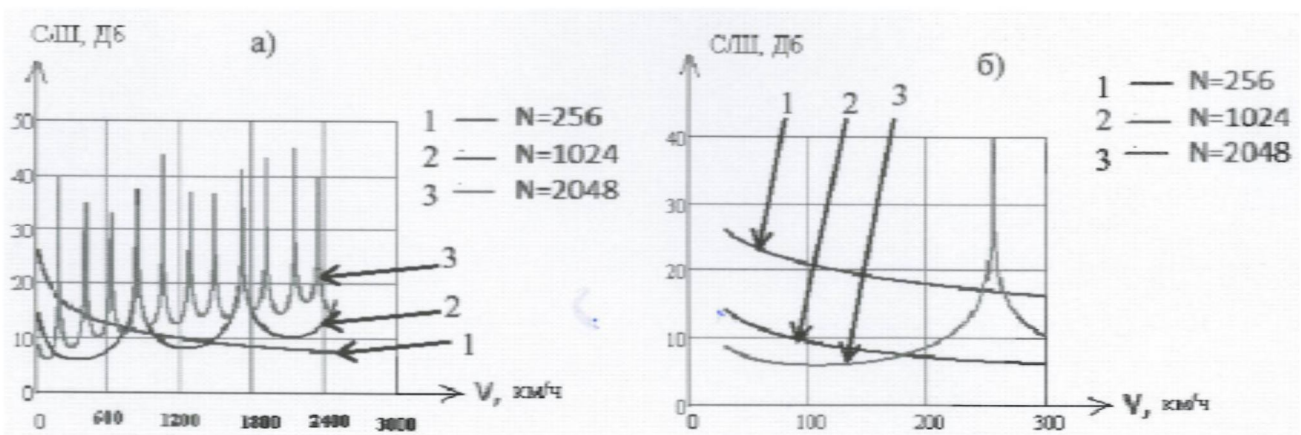


Рис. 1. Зависимость изменения отношения С/Ш, который вносит эффект Доплера при разных скоростях движения терминала, (N – количество поднесущих)

Заключение. Для оценки эффективности сети по разным параметрам разработаны математические модели, в т.ч. для борьбы с межканальными помехами разработана математическая модель их расчета, учитывающая эффект Доплера при скорости движения мобильного терминала от 40 до 3000 км/час.

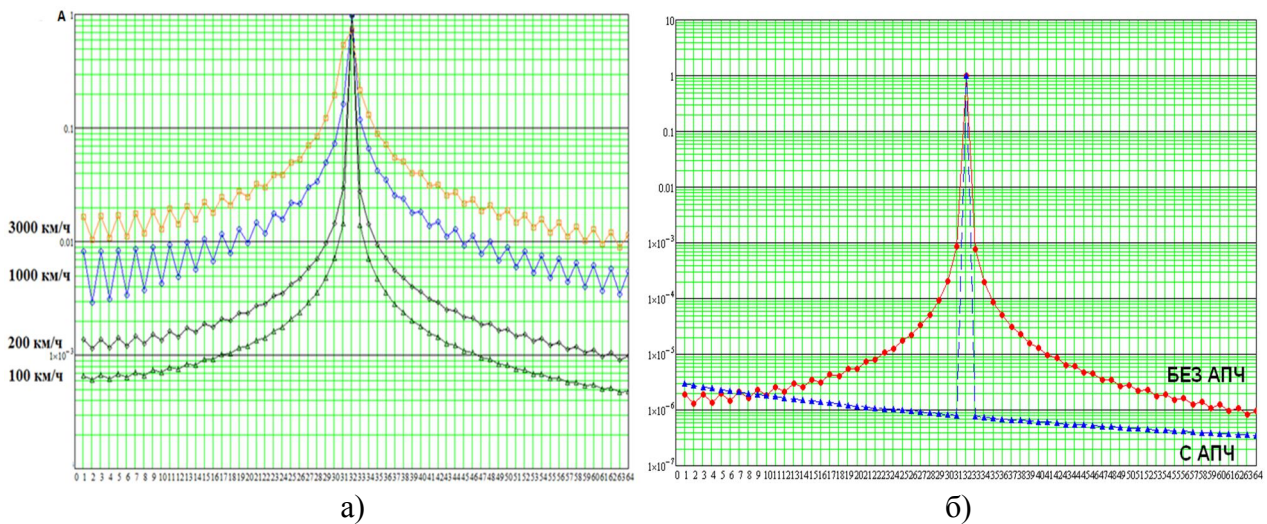


Рис. 2.

- а) Отклик в информационном канале (№32) амплитуд сигналов каждой поднесущей при разных скоростях движения МТ;
 б) Сравнение отклика в информационном канале при скорости движения 200 км/час без АПЧ и с АПЧ гетеродина.

С помощью этой модели определены характер изменения отношения мощности сигнала в информационном канале к мощности шумов в нем ($P_s/P_{ш}$) в зависимости от скорости движения мобильного терминала, количества поднесущих частот в OFDM-символе, наличия автоматической подстройки частоты (АПЧ) гетеродинного сигнала (рис. 2). Для скорости движения мобильного терминала равной 200...300 км/час, при числе учитываемых поднесущих равном 256 отношение $P_s/P_{ш} \approx 18$ дБ, а выигрыш от системы АПЧ составляет 3...4 дБ.

Литература

1. Кудинов А. Ка-диапазон – будущее спутниковой связи / А.Кудинов // Спутниковое ТВ. –2009, сентябрь. – С.22-23.
2. Интерактивная гетерогенная телекоммуникационная система (ИГТС) 4G с беспроводным доступом в миллиметровом диапазоне для предоставления мультимедийных услуг мобильным абонентам / [М.Е. Ильченко, К.С. Сундучков, С.Э. Волков и др.] // Зв'язок. – 2008. – №7-8. – С.28-32.
3. Сундучков К.С. Многолучевость при беспроводном доступе на автобане / К.С. Сундучков, Е.А.Фадеева, С.Э. Волков // Зв'язок. – 2011. – №4 (96). – С.63-66.
4. Межканальная интерференция и метод оценки ее влияния на прием сигнала / А.К. Сундучков, Е.А. Остролицкая, Е.А. Фадеева, К.С. Сундучков // Электроника и связь. Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии». – 2010. – № 4(57). – С.202-206.
5. Модели оценки эффективности работы телекоммуникационной сети. 20-я Междунар. Крымская конф. "СВЧ - техника и телекоммуникационные технологии" КрыМиКо'2010, Севастополь, 13-17 сентября 2010 р. / [М.Е. Ильченко, К.С. Сундучков, Е.О. Кузнецова, А.К. Сундучков]. – 2010. –Том 1. – С.325-328.
6. Сундучков А.К. Межканальные помехи в OFDM символе / А.К. Сундучков, Д.М. Сундучков, К.С. Сундучков // Зв'язок. – 2012. – №2 (98). – С. 38-43.