

Системы телекоммуникации, связи и защиты информации

УДК 621.391.63

А.И. Коваленко, А.Б. Карпович, Б.Н. Шелковников, канд. техн. наук

Некоторые особенности проектирования сетей технологии LTE

В статье рассмотрены отдельные особенности проектирования сетей подвижной связи. Приведена модель приемопередатчика LTE (Long Term Evolution) для восходящей линии (uplink) частотного разделения каналов с замираниями, а также графики, показывающие зависимости отношений сигнал-шум при разных базовых скоростях сверточного турбокодирования и полосах частот.

Some design features of mobile communication are described in the article. The LTE technology transceiver with frequency division duplex of channels with fading is considered. Signal - noise ratio dependences, base rates of turbo coding and different frequency bands are analyzed with the usage scheme.

Ключевые слова: система мобильной связи нового поколения, радиочастотный диапазон, стандартная модель распространения сигналов.

Введение

В современном мире надежный высокоскоростной доступ к различным сетям передачи данных является необходимым условием для своевременного получения информации. Решение этой проблемы в глобальном масштабе должны обеспечить системы 4G. К таким технологиям можно отнести: 3GPP (Third Generation Partnership Project) LTE и WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Во многих странах обсуждается вопрос о практическом внедрении сетей технологии LTE. При реализации таких планов могут возникнуть многочисленные сложности: проблемы выбора модели распространения сигнала, проблемы повышения качества передачи сигнала и ряд других. Эти проблемы и рассматриваются в данной статье.

1. Выбор модели распространения сигнала

До конца 2010 года Госадминистрация связи Украины должна была выделить из плана использования радиочастотного ресурса Украины диапазон для развертывания сетей технологии LTE. Проблема выбора диапазона частот отдельной технологии зависит от стоимости построения сети в этом диапазоне.

В документации по LTE предусматривается использование 17 полос радиочастот для режима частотного дуплекса FDD (Frequency Duplex Division) и 8 полос для режима временного дуплекса (Time Division Duplex) [1]. Эти диапазоны частот также совпадают с диапазонами, которые определены в Рекомендациях МСЭ (Международный союз электросвязи) для развития сетей мобильного беспроводного доступа 3-го и 4-го поколения. Для упрощения процесса расчета стоимости сети в отдельном диапазоне необходимо выбрать оптимальную модель распространения волн.

Выделяют следующие модели распространения сигналов: «модель Окумура-Хата», модель ITU 529-3, стандартную модель распределения сигналов. Так модель распространения сигналов ITU 529-3 используется на частотах 698–716 МГц, 728–768 МГц, 777–862 МГц, 865–915 МГц, 925–960 МГц, 1427,9–1462,9 МГц, 1475,9–1510,9 МГц. «Модель Окумура-Хата» применяют при проектировании сети на частотах 1710–1785 МГц, 1805–1990 МГц. Стандартная модель распространения сигналов используется на частотах 698–716 МГц, 728–768 МГц, 777–915 МГц, 925–960 МГц, 1427,9–1462,9 МГц, 1475,9–1510,9 МГц, 1710–1785 МГц, 1805–1990 МГц, 2110–2170 МГц, 2300–2400 МГц, 2500–2690 МГц, 3410–3600 МГц. Поэтому стандартную модель применяют, если сеть проектируется для расположенных рядом частотных диапазонов. А модель ITU 529 – 3, «модель Окумура-Хата» используются, если сеть проектируется для отдаленных частотных диапазонов. Стандартная модель распределения сигналов и модель распространения сигналов ITU 529-3 основана на «модели Окумура – Хата». Данная модель обобщает опытные факты, где учтены многие условия и типы сред. [2]

Применяют такое выражение для потерь в тракте в городской среде [3]

$$L_{об}(\text{город}) = 69,55 + 26,16 \cdot \log f_c - 13,82 \cdot \log h_t - A(h_r) + (44,9 - 6,55 \cdot \log h_t) \cdot \log d,$$

где f_c – частота несущей в мегагерцах, которая варьируется от 150 до 3500 МГц; h_t – высота передающей антенны (базовой станции) в метрах, лежит в пределах 30 – 300 м; h_r – высота принимающей антенны (мобильного устройства) в метрах, лежит в пределах 1 – 10 м; d – расстояние между антеннами в километрах, варьируется в пределах 1–20 км; $A(h_r)$ – поправочный коэффициент для высоты мобильной антенны.

Для небольших или средних городов поправочный коэффициент вычисляется по формуле:

$$A(h_r) = (1,1 \cdot \log f_c - 0,7) \cdot h_r - (1,56 \cdot \log f_c - 0,8).$$

Для больших городов множитель вычисляется по формуле:

$$A(h_r) = 3,2 \cdot ((\log(11,75 \cdot h_r))^2 - 4,97).$$

Необходимо формулу потерь для городской среды (1) изменить следующим образом, что бы оценить потери на тракте для пригорода

$$L_{\text{дб}}(\text{пригород}) = L_{\text{дб}}(\text{город}) - 2 \cdot (\log(f_c/28))^2 - 5,4.$$

Для потерь на открытом пространстве формула (1) выглядит следующим образом

$$\begin{aligned} L_{\text{дб}}(\text{открытая местность}) &= \\ &= L_{\text{дб}}(\text{город}) - 4,7 \cdot \log(f_c)^2 - \\ &- 18,733 \cdot (\log f_c) - 40,98. \end{aligned}$$

Стандартная модель распространения сигналов считается одной из лучших по точности предсказания потерь в сети технологии LTE. Все модели реализованы в программном обеспечении Atoll [2] или EDX [4].

2. Борьба с потерями в сети LTE

Таким образом, имея ту или иную модель распространения радиоволн и исходные параметры модели, можно рассчитать потери в сети, которые вызывают ухудшение качества передачи сигнала. Для улучшения качества передачи сигнала применяю различные методы. Одним из таких есть улучшение пере приема сигнала.

В системах LTE используются два уровня при приеме: схему гибридной системы с автозапросом повторной передачи HARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest) на уровне управления радиодоступом MAC (Medium Access Control layer) и внешний автоматический запрос на повторную передачу ARQ (Automatic Retransmission Request) на уровне протокола управления радиоканалом RLC (Radio Link Control). Внешний ARQ формирует трафик между

пользовательским оборудованием UE (User Equipment) и усовершенствованной базовой станцией сети eNB (Evolved Node-B) [5]. Он необходим для компенсации остаточных ошибок, которые не были скорректированы HARQ. В основе схемы гибридной системы с автозапросом повторной передачи HARQ в сетях LTE лежит процедура «Incremental redundancy». В этой процедуре меняется шаблон изменения бит в процессе турбокодирования при каждой последующей повторной передаче данных. В декодере необходимо увеличивать число проверочных бит в декодируемом пакете при каждой последующей передаче [6]. Такой подход дает заметный энергетический выигрыш.

Турбокод представляет собой систематический непрерывный код, в котором проверочные символы генерируются двумя кодерами составных PCK (Рекурсивный сверточный код). В кодер первого PCK информационная последовательность подается непосредственно, а в кодер второго PCK – через устройство псевдослучайного перемежения. Схема изменения проверочных символов применяется для регулирования общей скорости турбокода. Если при подаче определенной информационной последовательности на вход первого кодера PCK вес его проверочной последовательности оказывается малым, то версия этой информационной последовательности, подаваемая на вход второго кодера PCK, с высокой вероятностью приведет к генерации проверочной последовательности большого веса. Если какая-либо комбинация ошибок не может быть исправлена одним PCK, то это почти наверняка будет сделано с помощью другого PCK, и наоборот.

Схема организации связи на физическом уровне для восходящей линии (uplink) приведена на рис.1 Она отображает передачу сигналов при частотном разделении каналов с замираниями (рис.1) при разных полосах частот BW (Bandwidth). В сетях технологии LTE используются следующие модуляции: QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying), 16-QAM (Quadrature Amplitude Modulation), 64-QAM. 16-QAM, 64-QAM применяют в условиях благоприятной шумовой обстановки, а QPSK обычно применяют при более жестких условиях шумовой обстановки. В рассматриваемом примере будет использоваться благоприятная шумовая обстановка.

В элементе DL_Src_RF (рис.1) происходят процедуры канального кодирования, скремблирования, формирования модуляционных символов, формирования групповых символов и добавление к ним циклического префикса, а

также синтез ВЧ-сигнала в заданном частотном диапазоне. Элементы LTE_Channel и AWGN представляют собой канал передачи сигналов с замираниями. В элементе LTE_DL_Receiver_RF выполняются обратные преобразования к элементу DL_Src_RF. Такая схема позволяет исследовать отношение сигнал – шум при разных базовых скоростях сверточного турбокодирования и полосах частот. Вычисление проводилось в программном продукте Advanced Design System.

В сетях LTE основной базовой скоростью кодирования является $R = 1/3$. Остальные скорости достигаются внешним переформированием информационного сигнала. Чем меньший объем работы необходимо выполнить по переформированию информационного сигнала для увеличения базовой скорости кодирования, тем

лучше будут его помехоустойчивые свойства. При увеличении отношения сигнал/шум помехоустойчивость будет наивысшей при модуляции 16 QAM с базовой скоростью $R = 2/3$ (см. рис.2). Повышению помехоустойчивости сигнала способствует увеличение полосы частот, в котором работает сеть. Это достигается благодаря применению частотно-селективной диспетчеризации, координации помех между сотами сети. Также улучшению шумовой обстановки при передаче сигнала способствует уменьшение уровня помех на единицу площади. При увеличении отношения сигнал/шум помехоустойчивость будет наивысшей при модуляции 16 QAM с базовой скоростью $R = 2/3$ и полосой частот 20МГц (рис. 3) . Подобная ситуация наблюдается и для нисходящей линии.

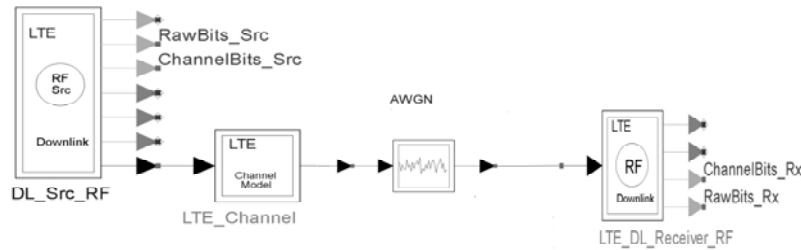


Рис. 1. Схема организации связи на физическом уровне для восходящей линии (uplink)

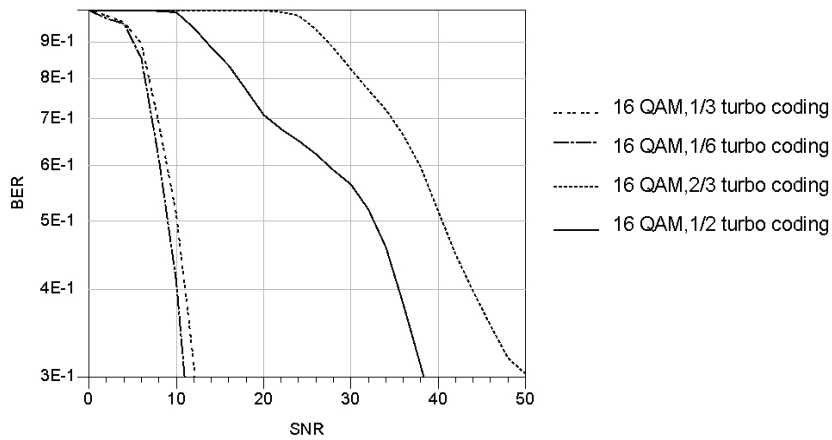


Рис. 2. Отношение сигнал – шум при разных базовых скоростях сверточного турбокодирования с полосой частот 5 МГц

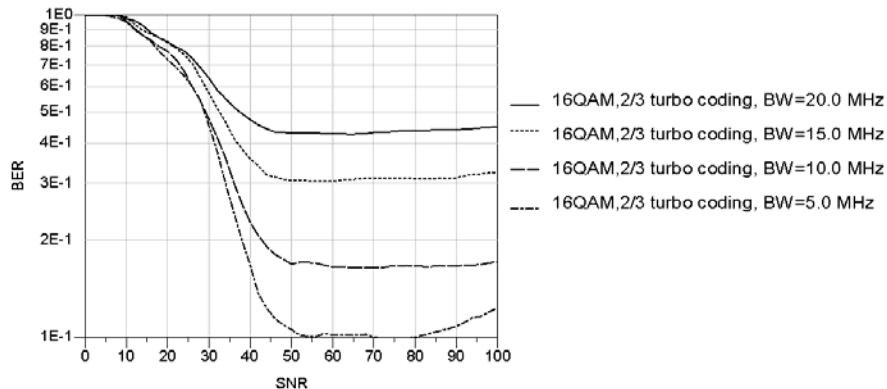


Рис.3. Отношение сигнал – шум при разных полосах частот при базовой скорости сверточного турбокодирования 2/3

Выводы

Показано, что при проектировании сетей технологии LTE одним из ключевых факторов применения той или иной модели расчета распространения волн является радиочастотный диапазон работы сети. Выбранная модель расчета распространения волн позволяет с большей точностью определить величину потерь в сети. Была исследована схема организации связи на физическом уровне для восходящей линии частотного разделения каналов с замираниями. В результате были получены зависимости отношения сигнал/шум при разных базовых скоростях сверточного турбокодирования и полосах частот. При увеличении отношения сигнал/шум, помехоустойчивость будет наивысшей при модуляции 16 QAM с базовой скоростью $R = 2/3$ и полосой частот 20 МГц.

Литература

1. 3GPP TS 36.912. Technical Specification Group Radio Access Network; Feasibility study for Further Advancements for E – UTRA (Release 9).
2. Atoll RF Planning & Optimisation Software User Manual v.2.8.0. AT280_UM_E0. – Forsk, 2009.
3. Столлингс В. Беспроводные линии связи и сети / В. Столлингс – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 640 с.
4. EDX[®] SignalPro[®] v.7.1 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.edx.com>
5. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 284 с.
6. Варукина Л. Производительность сети TD-LTE в сравнении с WiMAX [Электронный ресурс] / Л. Варукина – Режим доступа: http://www.mforum.ru/arc/20100722_Varukina_TD-LTEvsWiMAX_MForum.pdf

*Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»*