

ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ В СИСТЕМАХ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛЕНИЯ

И.С. Лисина, магистрант МГУСИ, irisha.foxyk@gmail.com

УДК 621.396

Аннотация. Работа посвящена исследованию проблем, возникающих при работе систем радиосвязи четвертого поколения. Рассмотрен вопрос – в результате каких воздействий появляются данные сложности и исследованы способы их решения.

На данный момент выбранная тема является актуальной, так как системы четвертого поколения применяются достаточно широко, а система пятого поколения еще не пришла ей на смену, по причине того, что сейчас только ведется ее разработка.

Ключевые слова: *LTE; WiMAX; Маквил; OFDM; технология VoLGA; MIMO; VoLTE; CS-CDMA; интеллектуальные антенны; замирания сигнала; помехи; прерывания сервиса.*

PROBLEMS AND THEIR SOLUTIONS IN THE PROFESSIONAL RADIO COMMUNICATION SYSTEMS OF THE FOURTH GENERATION

Irina Lisina, graduate student MTUCI

Annotation. The work is devoted to the study of problems arising from the operation of fourth-generation radio communication systems. The question is considered - as a result of what influences the given difficulties appear and the ways of their solution are investigated.

At the moment, the chosen topic is relevant since the systems of the fourth generation are widely used and the system of the fifth generation has not yet replaced it due to the fact that it is only being developed now.

Keywords: *LTE; WiMAX; McWiLL; OFDM; VoLGA technology; MIMO; VoLTE; CS-CDMA; intellectual antennas; fading signal; interference; service interruption.*

По сравнению с предыдущими системами системы четвертого поколения предназначены для увеличения скорости передачи данных. Но с увеличением скорости появился ряд проблем, таких как: замирание сигнала в радиоканале, требовательность к качеству электронных компонентов, помехи, возникновение прерывания сервиса при передвижении абонента между сетями, а также нехватка частотного спектра.

Справиться с замиранием сигнала удалось с помощью применения технологии *OFDM* (ортогонального частотного дуплексного разделения канала). *OFDM* обладает нечувствительностью к расширению задержки многолучевого сигнала. Это обеспечивается за счет значительного увеличения длительности одного *OFDM*-символа, которая больше длительности КАМ – символа в N_s раз. Для того, чтобы практически полностью устранить межсимвольную интерференцию между соседними *OFDM*-символами, вводится защитный временной интервал, а между лучами временная задержка. Чтобы устранить нарушение ортогональности из-за многолучевости, каждое поднесущее колебание циклически продолжается на защитный интервал. В этом случае даже задержка второго луча не приведет к нарушению ортогональности между поднесущими. Это будет справедливо для любого луча, если расширение задержки из-за многолучевости канала не превышает длительность защитного интервала. Введение защитного интервала и циклического расширения снижает скорость передачи. Особенность *OFDM* состоит в том, что она стойка к замираниям (для разных типов модуляции есть свой запас на замирания). Но у данного способа есть как плюсы, так и минусы – это чувствительность к доплеровским искажениям и требовательность к качеству электронных компонентов [1, 2].

Бороться с замираниями можно и другим способом. С помощью применения адаптивных антенных систем. Такой способ помогает бороться не только с замираниями, но и с рядом других проблем: борется с помехами, позволяет повысить скорость передачи информации, а также позволяет осуществить пространственное разделение сигналов.

Но и для абонентов, использующих устройства, поддерживающие *LTE*, голосовой вызов представляет проблему. Дело в том, что для голосовой связи в предыдущих поколениях используется коммутация каналов, а *LTE* полностью основана на коммутации пакетов и работает по протоколу *IP*. Методов решения существует несколько, например, откат к коммутации каналов при голосовом вызове. Основные проблемы такого решения заключаются в длительном времени установки соединения. Последним решением на сегодняшний день является технология *VoLGA* – передача голоса поверх *LTE* с помощью сети общего доступа. Таким образом, отката к коммутации каналов не происходит. Но если абонент выезжает за пределы сети *LTE* и оказывается в зоне действия сети предыдущего поколения, то текущий вызов прервется, и ему придется совершать повторный звонок.

LTE позволяет достигать высоких агрегатных скоростей передачи данных: 100 Мбит/с для нисходящего соединения и 50 Мбит/с для восходящего. Но эти значения достигаются только в полосе пропускания, равной 20 МГц, при низкой загруженности сети. В реальных условиях будут модернизированы сети с гораздо меньшей полосой пропускания (до 5 МГц), следовательно, скорость при нисходящем соединении не будет превышать 5-20 Мбит/с, что в среднем выше скорости, которую могут обеспечить *HSPA* и *EV-DO Rev. B*, но сопоставимо со скоростью, которую обеспечивает *WiMAX*. А так как *WiMAX* уже используется несколько лет, и зона покрытия сети постоянно растет, то к моменту запуска *LTE* для абонента не будет смысла переходить в данную сеть. А если учесть то, что зона обслуживания *LTE* изначально будет уступать *WiMAX*, и то, что придется приобретать новое устройство с поддержкой данной технологии – это может сказаться на доходах оператора, построившего сеть, и, как следствие, на перспективах развития самой сети [2].

Базовая станция стандарта *LTE* может обслуживать одновременно до 200 активных абонентов, но не стоит забывать о том, что та же самая базовая станция должна поддерживать и абонентов *2G* и *3G* сетей, что заметно сокращает вместимость сети. Это обусловлено тем, что базовой станции одновременно приходится работать и в режиме коммутации каналов, и в режиме коммутации пакетов, что на кратковременные интервалы может значительно снижать качество предоставляемых услуг, например, потеря пакетов, и, как следствие, повторная передача данных, реализованная по протоколу *HARQ* (*Hybrid Automatic Repeat Query*). Но при максимальной нагрузке сети протокол *HARQ* может не справиться с исправлением ошибок, и в таком случае повторная передача пакетов реализуется посредством протокола *ARQ*, что связано с большими накладными расходами и повышает время задержки передачи пакетов [2].

Также в сетях четвертого поколения применяется система *MIMO* (которая дословно переводится как много передающих антенн и много приемных антенн). Эта система позволяет осуществить дифференцированную передачу (несколько антенных каналов используются для передачи одного потока данных) – эта техника также борется с замираниями в радиоканале и направлена на улучшение качества передачи в канале. Для пересылки нескольких потоков информации по одному и тому же радиоканалу используют несколько передающих и приемных антенн, что значительно повышает максимальную скорость передачи данных, так как дает возможность одновременно пересылать до нескольких потоков данных по одному и тому же радиоканалу [3].

Стоит отметить, что использование многоантенной передачи в абонентском устройстве значительно повышает его энергопотребление, что является весомым недостатком, потому что терминалы, поддерживающие *LTE* – это, в основном, мобильные устройства. Естественно, повышенное энергопотребление негативно повлияет на время автономной работы мобильных устройств. Возможным решением данного недостатка может быть работа только одной

антенны в абонентском устройстве при питании от аккумулятора и включение всех антенн при питании от сети.

Обеспечить непрерывность сервиса при перемещении абонента между сетями позволяет обеспечить *SAE*-якорь. Важная особенность *SAE* – пользовательские данные могут пересылаться между базовыми станциями непосредственно, причем как посредством проводной, так и беспроводной связи. Это особенно важно при хендвере, для быстрого бесшовного переключения пользователя между БС. Разумеется, допустимо передавать данные между БС и через шлюзы транспортной *IP*-сети. Возможность непосредственной беспроводной передачи данных между БС фактически означает, что в архитектуре *SAE* заложена функциональность *mesh*-сети [8].

Для технологии *LTE* консорциум *3GPP* предложил новую сетевую инфраструктуру (*SAE* – *System Architecture Evolution*). Цель и смысл концепции *SAE* – эффективная поддержка широкого коммерческого использования любых услуг на базе *IP* и обеспечение непрерывного обслуживания абонента при его перемещении между сетями беспроводного доступа, которые не обязательно соответствуют стандартам *3GPP* (*GSM*, *UMTS*, *W-CDMA* и т.д.) [4].

В сети с архитектурой *SAE* могут применяться узлы только двух типов – базовые станции (*evolvedNodeB*, *eNodeB*) и шлюзы доступа (*AccessGateway*, *AGW*) [4].

Уменьшение числа типов узлов позволит операторам снизить расходы как на развертывание сетей *LTE/SAE*, так и на их последующую эксплуатацию.

Ядро сети (*CoreNetwork*) *SAE* включает в себя четыре ключевых компонента [4]:

- модуль управления мобильностью (*MobileManagementEntity*, *MME*), обеспечивающий хранение служебной информации об абоненте и управление ею, авторизацию терминальных устройств и общее управление мобильностью;
- модуль управления абонентов (*UserPlaneEntity*, *UPE*), отвечающий за установление нисходящего соединения, шифрование данных, маршрутизацию и пересылку пакетов;
- *3GPP* якорь (*3GPPAnchor*), выполняющий роль шлюза между сетями *2G/3G* и *LTE*;
- *SAE* якорь (*SAEAnchor*) используется для поддержки непрерывности сервиса при перемещении абонента между сетями, как соответствующим спецификациям *3GPP*, так и не соответствующими (*WLAN*).

Последние два компонента представляют собой совершенно новые элементы архитектуры ядра сети мобильной связи (*EvolvedPacketCore*) и обязаны своим появлением требованию поддержки мобильности при перемещении абонента между сетями разных типов [4].

Также у сетей *4G* есть такая особенность, что по ней передаются только данные, а, чтобы передать голосовой звонок телефон должен переключиться в режим *3G*. Для того чтобы исправить это можно внедрить *VoLTE* [5].

VoLTE – это технология передачи голоса в сетях *LTE* (второе название – *4G*). Соответственно, и доступна она только на смартфонах с поддержкой *4G*. Основана *VoLTE* на *IP Multimedia Subsystem (IMS)*. Ее новаторство в том, что технология позволяет операторам связи предоставлять голосовые услуги, доставляя их от адресата к адресату в виде потока данных в сетях *LTE*, что становится причиной его большей емкости и более высокого качества, нежели при совершении звонка с использованием *2G* или *3G* [5].

Перевод *VoLTE* полностью соответствует определению. Буквосочетание означает *Voice over LTE*, что переводится с английского как «голос по *LTE*».

Преимущества технологии:

- Каждый звонок абоненту будет на 2 секунды короче – именно столько затрачивается на переход смартфона из режима *4G* в *3G* при совершении вызова адресату. Теперь гаджету делать такую манипуляцию не нужно [5].
- Улучшение качества связи, минимизация помех, искажения голоса.

- Пока абоненты разговаривают с использованием *LTE VoLTE*, их гаджеты могут передавать данные на максимальной скорости *4G* – устройствам теперь незачем «спускаться» в *3G* [5].
- Увеличение числа абонентов, у которых может появиться возможность одновременно поддерживать связь с одной вышкой – базовой станцией. Это достоинство, пока что замечаемое только операторами связи, абоненты вспоминают добрым словом в Новый год и другие праздники (многие сталкиваются с тем, что не могут дозвониться под бой курантов до родных и близких как раз из-за непомерной нагрузки на упомянутую вышку). Теперь же, в эпоху *VoLTE*, базовая станция может поддерживать в три раза больше абонентов.

Недостатки *VoLTE* [5]:

- Новая технология подразумевает несколько большую нагрузку на смартфон, в результате чего он будет немного быстрее разряжаться во время разговора [5].
- Вышки *LTE* в основном установлены в городах и крупных населенных пунктах. Поэтому на автотрассе, на природе и базах отдыха, в поселках и т. д. связь может пропасть. Чтобы дозвониться определенному абоненту, пользователю придется вручную переключать свой смартфон в *3G* или даже *EDGE, GPRS* – в режим, который поддерживается в данной местности. Не исключено, что разработчики гаджетов в скором времени «научат» свои устройства совершать это действие при надобности автоматически [5].

Территория действия *VoLTE*

VoLTE действует в сети *4G+* на территории Домашнего региона¹ [5].

В настоящее время *VoLTE* недоступна во внутрисетевом или международном роуминге.

CS-OFDMA означает ортогональный многостанционный доступ с частотным разделением каналов и переменным коэффициентом расширения. Он представляет собой комбинацию *OFDMA* и *SCDMA* и поэтому имеет преимущества как *OFDMA*, так и *SCDMA* [6].

Вся полоса сигнала *CS-CDMA* составляет 5 МГц. Она подразделяется на пять независимых групп поднесущих, и каждая поднесущая имеет полосу 1 МГц. Каждая поднесущая состоит из 128 наборов частот (несущие *OFDM*). А эти 128 наборов далее подразделяются на 8 подгрупп, и каждая подгруппа имеет 16 наборов [6].

При передаче одного символа он сначала разворачивается в восемь частотных наборов (наподобие чипов в *CDMA*) посредством восьми ортогональных кодов Уолша-Адамара. Эти восемь наборов частот развертывания размещаются во всех этих восьми подгруппах. Это означает, что энергия одного передаваемого символа распределяется по всей полосе 1 МГц посредством восьми отдельных частотных наборов. Таким образом, мы можем получить как выигрыш от разворачивания спектра, так и разнос по частоте, чтобы скомпенсировать воздействие замирания каналов [7, 8].

Эффективную методику подавления помех предлагает новая технология широкополосного мобильного доступа *McWILL*. Суть этой методики заключается в том, что предлагается применить систему интеллектуальных антенн. Такая антенна сама понимает какой сигнал из большого разнообразия предназначен именно ей.

¹ Домашний регион – субъект Российской Федерации, на территории которого клиент заключил Договор об оказании услуг связи.

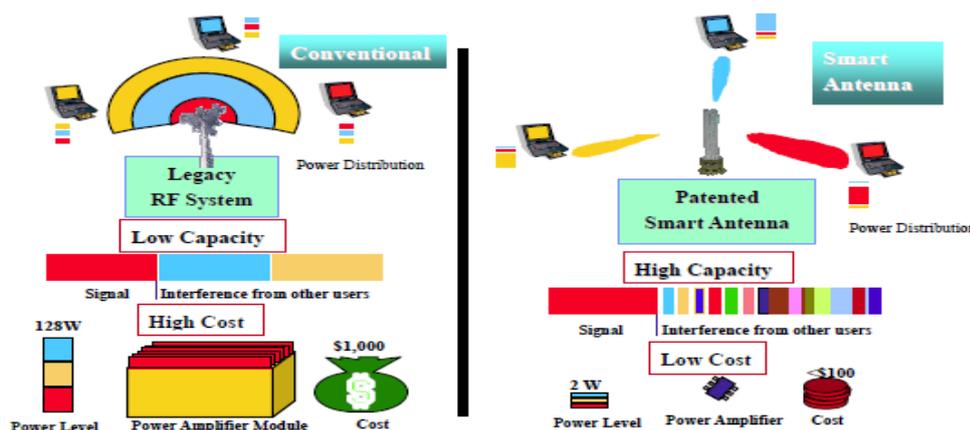


Рисунок 1

На рис. 1 показано сравнение между традиционной антенной системой и системой интеллектуальных антенн. Если нам надо передать три разных сигнала, для наглядности пометим их разными цветами и передадим на три терминала, помеченные соответствующим цветом, то в зоне покрытия соты они будут передаваться традиционной антенной всенаправленно. Эти три сигнала будут приниматься всеми терминалами, каждый терминал должен принимать сигнал своего цвета. Такая всенаправленная передача может привести к расходу радиочастотной мощности и внести существенные помехи. В случае же системы интеллектуальных антенн осуществляется прием сигнала по восходящей линии от каждого терминала, определяется пространственный канал каждого терминала, и эта информация используется для формирования луча, как на восходящей, так и нисходящей линии. В таком режиме каждый сигнал поступает на предназначенный для него терминал с высоким уровнем, а другие сигналы, сфокусированные в других направлениях, могут создавать лишь незначительную мощность. Формирование луча на нисходящей линии не только экономит большое количество радиочастотной мощности, но и практически не создает помех другим пространственно разнесенным терминалам [9].

При использовании 8-элементной антенной решетки выигрыш от формирования луча может добавить до 18 дБ к энергетическому потенциалу нисходящей линии.

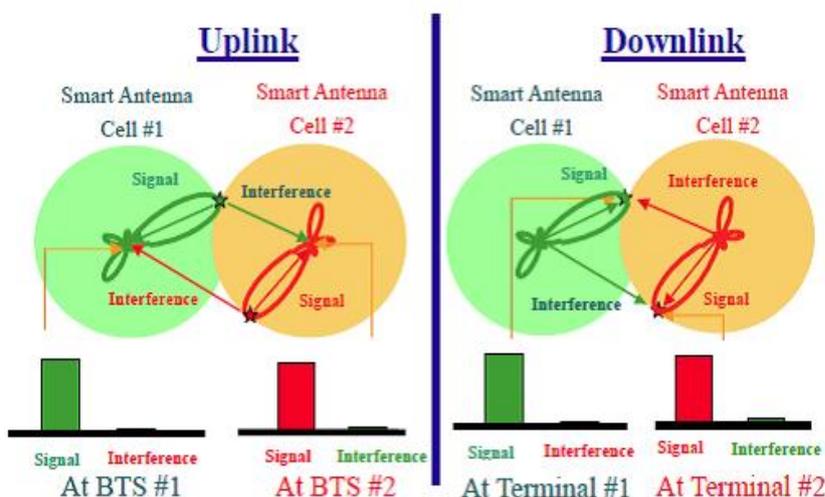


Рисунок 2

С помощью технологии интеллектуальных антенн можно добиться не только существенного расширения покрытия, но и значительно подавить помехи. Как показано на рис. 2 для случая пространственного формирования луча, мы можем не только сформировать луч в

направлении терминала, но и создать нулевое значение в направлении помехи с тем, чтобы получить максимально отношение сигнал/помеха и сигнал/шум [9-12].

Такая методика подавления помех эффективна не только в отношении внешних помех, но и в отношении помех от соседних базовых станций, использующих ту же самую несущую частоту. Поскольку Маквилл использует метод *TDD*, достижение нулевых значений может осуществляться как для восходящей, так и для нисходящей линии *scheme*, что позволяет минимизировать соканальную помеху от соседних базовых станций, давая возможность развертывания сети $N=1$ или повторного использования частот [9].

Решением нехватки частотного спектра является переход на более высокий диапазон частот. Но чем больше частота, тем короче длина волны, а с этой проблемой бороться будут уже в системах пятого поколения.

Заключение

Конечно, в системах четвертого поколения есть существенные недостатки, но методы борьбы с ними уже существуют. Некоторые из них сейчас во всю применяются в стандарте *LTE* такие как: *OFDM*, *MIMO* и другие. А также не стоит забывать и о перспективной технологии *McWILL*, которая сейчас активно развивается в нашей стране и уже успешно работает на территории других страны. Наибольшее свое развитие на сегодняшний момент данная технология имеет в Китае.

Литература

1. Гуляев А.В., Шорин О.А. Синтез оптимальной сети радиодоступа WCDMA при известной модели нагрузки // Электросвязь, 2002. – № 9. – с. 33-38.
2. Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. «Системы цифровой радиосвязи», 2005. – 392 с.
3. Шорин О.А., Аверьянов Р.С. Сравнение канального ресурса стандартов LTE и MCWILL (NG-1) // Экономика и качество систем связи, 2016. – № 1. – С. 4-10.
4. Сетевая архитектура SAE [Электронный ресурс] // URL: https://studbooks.net/2133455/tehnika/mehanizm_dispetcherizatsii (Дата обращения: 15.11.18).
5. VoLTE [Электронный ресурс] // URL: <http://androidnik.ru/chto-takoe-volte/> (Дата обращения: 15.11.18).
6. Лебедев В. «Модуляция OFDM в радиосвязи», // Радиолюбитель, 2008. – № 9. – с. 36-40.
7. Рыжков А.Е. и др. «Системы и сети радиодоступа 4G: LTE, WiMax», 2012. – 226 с.
8. Широкополосный доступ NG-1 (McWILL) [Электронный ресурс] // URL: <http://nxtt.org/technology/11/43/> (Дата обращения: 28.11.18).
9. Шорин О.А., Косинов М.И., Осин В.В. Наука. Рынок корпоративных пользователей и технология широкополосного мобильного доступа McWILL // Электросвязь, 2017. – № 1. – с. 20-21.
10. Шорин О.А., Бокк Г.О. К вопросу об электромагнитной совместимости стандартов четвертого поколения // Экономика и качество систем связи, 2016. – № 2. – С. 51-59.
11. Шорин О., Бокк Г. Анализ электромагнитной совместимости стандартов четвертого поколения // Первая миля, 2016. – № 1 (54). – С. 44-53.
12. Шорин О.А., Бокк Г.О. К вопросу об электромагнитной совместимости стандартов четвертого поколения // в книге: Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом сборник материалов (тезисов) XXXVII международной конференции РАЕН. 2016. С. 4-6.