

Сопоставление эффективности сетей LTE и McWILL при передаче речи и коротких сообщений

Р.С. Аверьянов, директор по производственной деятельности ООО «НСТТ»; ars@nxtt.org

А.О. Шорин, технический директор ООО «НСТТ»; as@nxtt.org

УДК 621.395

Аннотация. Проведен сравнительный анализ емкости сетей LTE и McWILL при передаче речи и коротких сообщений. Установлено, что применяемая в LTE техника VoIP приводит к существенным потерям. В сетях McWILL для речевого обмена используется специализированный протокол. Показано, что благодаря этому протоколу сети McWILL превосходят сети LTE по показателю числа речевых каналов на единицу полосы в 1,7–3,4 раза (в зависимости от условий работы).

Ключевые слова: VoIP, LTE, McWILL, пакет, формат кадра, процедура ROHC, протокол PDCP.

ВВЕДЕНИЕ

Услуги речевой связи продолжают сохранять значительный вес среди запросов абонентов, несмотря на бурное развитие режима цифрового обмена. Поэтому актуальным остается вопрос эффективности работы сотовых сетей последних поколений в режиме речевого обмена. В статье проводится сопоставительный анализ эффективности использования ресурса радиоканала в режиме речевого обмена и передачи коротких сообщений для стандартов LTE и McWILL.

ПОСТАНОВКА И УСЛОВИЯ ЗАДАЧИ

Для корректного сопоставления стандартов LTE и McWILL необходимо сначала адекватно выбрать ресурс спектра с учетом того, что сети LTE в подавляющем большинстве случаев работают в дуплексном режиме с частотным разделением (FDD), а сети McWILL — с временным разделением (TDD). Для McWILL базовым является режим работы в полосе 5 МГц. Поскольку для FDD размер полосы принято определять по одному поддиапазону, то среди стандартного перечня LTE [1, 2] наиболее близкой по рабочему размеру к McWILL будет полоса 3 МГц. Однако в итоге сопоставление нужно проводить с коррекцией полученных показателей емкости LTE на множитель $5\text{ МГц}/(3\text{ МГц} \cdot 2) = 5/6$.

Перейдем к конкретным характеристикам. В сети LTE речевой обмен организован на базе услуги VoIP (голос через интернет). Поток речевых блоков (как правило, AMR кодеков) воспринимается сетью как обычные данные. Специфические требования, связанные с услугой речевого обмена (малая гарантированная задержка, отсутствие жестких требований к ошибкам, наличие пауз, фиксированный размер вокодерных блоков и т.д.), обеспечиваются активизацией некоторых специфических методов организации работы. К ним относится использование на сетевом уровне протокола неподтверждаемой передачи UDP и на канальном уровне специального алгоритма ROHC (RObust Header Compression), осуществляющего упаковывание/распаковывание (в

рамках протокола PDCP) заголовков высших уровней RTP/UDP/IP [3, 4].

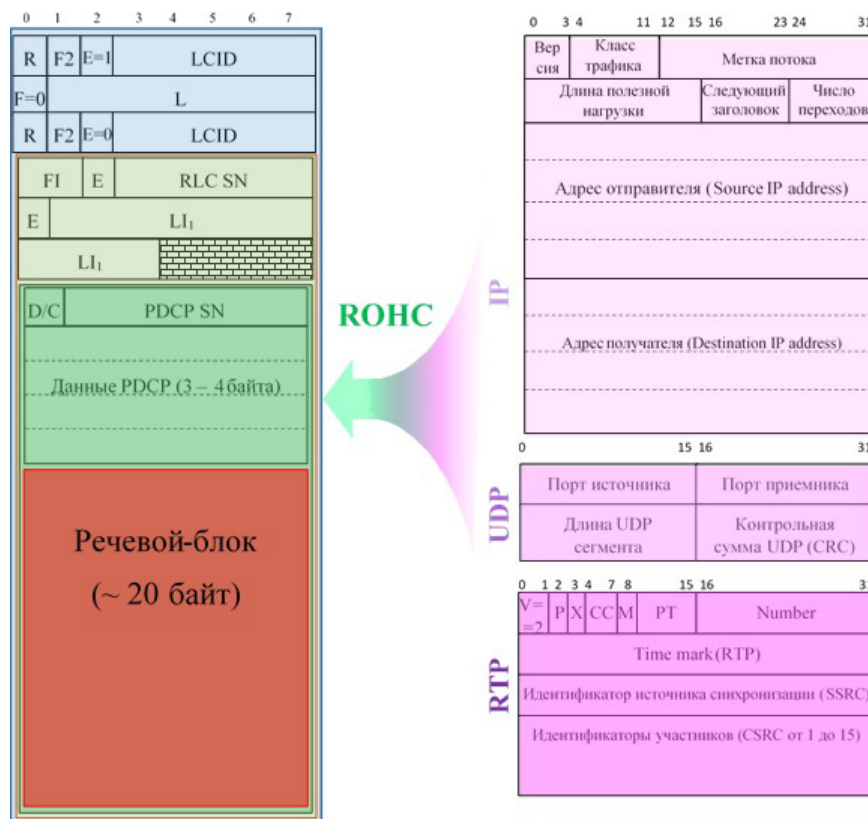
В соответствии с этим, после инкапсуляции в LTE транслируются VoIP кадры со структурой, показанной на рис. 1. Внешнее обрамление составляют заголовки кадра MAC (верхняя часть физического уровня) и кадра Radio Link Control (RLC) канального уровня. Так как используется процедура ROHC, то на канальном уровне исключается возможность применения режима «сквозной передачи» (Transparent Mode) и приходится использовать полномасштабный протокол RLC с затратами на трансляцию обрамлений. Полезная нагрузка, составляющая порядка 20 байт, содержит один блок AMR-кодека. Каждый такой блок формируется через 20 мс. Структура кадров коротких сообщений с полезной информацией до 20 байт (достаточно для объединения показаний 8–10 счетчиков) будет точно такой же.

Сеть McWILL в эфире поддерживает обмен пакетами кодеков формата G.711 и G.729. При взаимодействии с внешними сетями в шлюзе SAG3000 (5000) в случае необходимости производится кросс-конвертация вокодерных блоков в указанные форматы. Обычно это приводит к увеличению задержки доставки от 10 до 20 мс, но позволяет существенно упростить протокол и добиться сокращения сопутствующей нагрузки, связанной с необходимостью передачи заголовков обрамлений в инкапсулированной структуре кадров речевого обмена.

Конкретно в сети McWILL речевые кадры не содержат заголовков RTP/UDP/IP. Исчезает необходимость применения процедуры ROHC и связанного с ней протокола PDCP. А это, в свою очередь, позволяет использовать режим Transparent Mode на канальном уровне и убрать из речевых кадров обрамления уровня RLC. В итоге формат речевого кадра приобретает вид, приведенный на рис. 2. Структура кадров коротких сообщений с полезной информацией до 10 байт (достаточно для объединения показаний 4–5 счетчиков) будет точно такой же.

Рисунок 1

Структура кадра с VoIP, транслируемого по интерфейсу радиоканала LTE-Uu



Служебная нагрузка связана только с обрамлением MAC-кадра и составляет 16 бит. Кодеки G.711 применяются исключительно в стационарных ТфОП. Доля соединений с их участием в сотовых сетях последних поколений заметно сократилась. Поэтому в дальнейшем для сетей McWILL будем ориентироваться на кодек G.729.

На завершающем этапе для сетей LTE и McWILL необходимо оценить затраты ресурса радиоканала на служебный трафик и вспомогательные функции. Также потребуются анализ эффективности процедур размещения речевых кадров (рис. 1 и 2) на доступном ресурсе при условии обеспечения заданного уровня качества передачи (CQI) [2, 5].

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Структура каналов и линейка скоростей кодирования в LTE. В сетях LTE, работающих в режиме FDD, основная доля служебного трафика приходится на поддиапазон линий от базовой станции (БС) к абонентам. Поэтому наибольшая нагрузка в условиях голосовых соединений будет наблюдаться в этом поддиапазоне и для оценки емкости можно ограничиться только его рассмотрением.

В LTE ресурс радиоканала разделен на блоки Resource Blocks (RB), в каждом из которых 12 поднесущих и 7 символов OFDM во времени (рис. 3).

Один ресурсный элемент (RE) содержит один символ OFDM (порядка 71,3 мкс) на одной поднесущей. Поднесущие разделены по частоте на 15 кГц. Как видно, один RB содержит $7 \cdot 12 = 84$ RE. Базовый режим работы (Localized Mode) устанавливает для абонентских соединений распределение ресурса кратного минимальной порции, равной двум RB. Но для речевых соединений указанный уровень дискретизации чрезмерно велик. Для них в качестве основного используют режим (Distributed Mode) [2, стр. 194], в котором два RB распределяются на два речевых соединения.

Спаренные RB во времени занимают интервал 1 мс, который называют SubFrame. От одного до трех первых OFDM-символов в каждом SubFrame распределены под каналы управления (PCFICH, PHICH и PDCCH). При высокой нагрузке все три первых OFDM-символа обычно задействованы.

Для адаптивной юстировки АЧХ и ФЧХ радиоканала, а также для настройки режима MIMO, в каждый RB вводят референсные сигналы (RS), равномерно распределенные по позициям. На рис. 3 (ячейки R0) показан один из базовых вариантов организации RS, называемый Cell-Specific RS. Другие варианты предполагают выделения для RS большего ресурса. При оценке емкости LTE их рассматривать не будем.

Каждые 10 SubFrame, расположенные последова-

Структура кадра MAC сети McWILL, содержащего речевой блок формата G.729

Для речевых соединений в LTE применяют схему выделения ресурсов, называемую «полу-настойчивая» (Smi-Persistent Scheduling, SPS) [2, стр. 113, 196], [6, стр.

Структура ресурсного блока (RB) сети LTE

В LTE также используются широковещательные

Структура организации широковещательных каналов синхронизации PSS, SSS и канала управления PBCH в LTE



Таблица 1

Градации индекса качества связи CQI для LTE

CQI	Схема модуляции	Информационная скорость сверточного (TURBO) кодирования, в единицах 1/1024	Эффективное значение, бит/символ	Требуемый уровень ОСШ на входе демодулятора, дБ
1	QPSK	78	0,15	-0,30
2	QPSK	120	0,23	1,44
3	QPSK	193	0,38	3,34
4	QPSK	308	0,60	4,94
5	QPSK	449	0,88	6,04
6	QPSK	602	1,18	6,94
7	16-QAM	378	1,48	12,3
8	16-QAM	490	1,91	13,2
9	16-QAM	616	2,41	13,9
10	64-QAM	466	2,73	19,1
11	64-QAM	567	3,32	19,7
12	64-QAM	666	3,90	20,1
13	64-QAM	772	4,52	20,3
14	64-QAM	873	5,12	21,6
15	64-QAM	948	5,55	23,3

управляющие каналы первичной/вторичной синхронизации (PSS/SSS) и PBCH (Physical Broadcast Channel). Первые два предназначены для организации вхождения абонентов в синхронизацию, а последний — для передачи минимально необходимой информации для дальнейшего подключения к каналам управления PCFICH, PDCCH. Каналы PSS, SSS, PBCH всегда располагаются в фиксированных позициях (62 поднесущие в ближайших к центру рабочего спектра позициях). Они транслируются с регулярностью 10 мс (рис. 4).

Для того чтобы оценить эффективность исполь-

зования частотного спектра нужно учитывать схемы кодирования и модуляции. В сетях LTE управление выбором модуляции и схемой кодирования производится по Рек. ETSI, содержащей 15 градаций индекса качества связи CQI [2, стр. 219] и [6, стр. 138] (табл. 1). В последнем столбце табл. 1 показаны более привычные для инженеров пороговые значения отношения сигнал/шум (ОСШ) на входе демодулятора, определяющие соответствующий уровень CQI.

Нужно отметить, что ограниченный размер речевого кадра и жесткие требования на задержку не позволяют применять для VoIP линий TURBO-кодирование со значительным диапазоном перемежения. В результате эффективность кодирования будет снижаться, что следует из соотношений, приведенных в [7, стр. 105]. В таких условиях оценка выигрыша TURBO над обычным сверточным кодированием составляет всего 1,2–1,6 дБ.

Теперь есть все данные для расчета емкости сети LTE в режиме VoIP. Выполним расчет в четыре шага:

- найдем общее число RB на интервале 10 мс;
- исключим долю ресурса, задействованного на служебные и вспомогательные цели;
- вычислим для разных CQI число RB, требуемое для речевого соединения;
- определим частное доступного числа RB к числу RB, потребляемому на речевое соединение.

Шаг 1. В сети LTE, работающей в режиме FDD с полосой 3 МГц, общее число RB на интервале 10 мс составит:

$(3\text{ МГц}/15\text{ кГц} - 2) \cdot 10$ [защитных частотных каналов на краях] $\cdot (7$ [OFDM интервалов] $\cdot 2$ [слота] $\cdot 10$ [Sub Frame]) = $180 \cdot 140 = 25200$ [RE] = 300 [RB].

Шаг 2. Каналы PSS и SSS на интервале 10 мс передаются дважды. Каждый из них всякий раз зани-

Таблица 2

Число RB, требующееся для передачи одного VoIP кадра

CQI	Схема модуляции	Информационная скорость сверточного (TURBO) кодирования, в единицах 1/1024	Размер кадра с VoIP, бит	Число доступных RE в RB (за вычетом RS и ресурса управления)	Число RB на речевой канал (на интервале 20 мс)
1	QPSK	78	248	63	26 (25,84)
2	QPSK	120	248	63	17 (16,80)
3	QPSK	193	248	63	11 (10,44)
4	QPSK	308	248	63	7 (6,54)
5	QPSK	449	248	63	5 (4,49)
6	QPSK	602	248	63	4 (3,35)
7	16-QAM	378	248	63	3 (2,67)
8	16-QAM	490	248	63	2 (2,06)
9	16-QAM	616	248	63	2 (1,64)
10	64-QAM	466	248	63	2 (1,44)
11	64-QAM	567	248	63	2 (1,18)
12	64-QAM	666	248	63	1 (1,01)
13	64-QAM	772	248	63	1 (0,87)
14	64-QAM	873	248	63	1 (0,77)
15	64-QAM	948	248	63	1 (0,71)

мает $6 \cdot 12 \cdot 10 = 62$ [RE]. В сумме получается $62 \cdot 2 \cdot 2 = 248$ [RE].

Канал PBCH передается 1 раз в 10 мс на 62 поднесущих. Он занимает четыре последовательных символа OFDM (RS, попадающие в зону PBCH, также будем при расчете емкости относить к PBCH). Поэтому затраты на PBCH составят $62 \cdot 4 = 248$ [RE].

Согласно рис. 3, в стандартном RB, в зоне не занятой управляющими каналами PCFICH, PHICH и PDCCH, присутствуют в среднем три RS ячейки. А в RB, содержащих каналы PSS, SSS или PBCH (рис. 4) – четыре RS. Таких RB на интервале 10 мс – четыре. Следовательно, дополнительное резервирование на все возможные варианты RS сигналов в ресурсных блоках с каналами PSS, SSS, PBCH приводит к дополнительной потере четырех RE. В итоге для общих затрат находим $248 + 248 + 4 = 500$ [RE]. Отсюда доступный ресурс на 10 мс составит $(25200 - 500) \text{ [RE]} / 84 \text{ [RE/RB]} = 294,049 \approx 294$ [RB].

Шаг 3. В табл. 2 приведены результаты расчета чис-

ла RB, требующегося для одного VoIP кадра (см. рис. 1), при возможных показателях качества CQI. В последнем столбце в скобках приведены значения частного без округления. Но так как один RB в LTE не может быть разделен между абонентами, то результат нужно округлять до целого «вверх».

Шаг 4. Результаты табл. 2 (в части необходимого числа RB) получены для интервала 20 мс, используемого в AMR кодеках, применяемых в линиях VoIP. В изложенной выше методике расчета емкости предполагался интервал 10 мс. Поэтому при вычислениях емкости значения последнего столбца табл. 2 нужно уменьшать вдвое. Результаты такого расчета представлены на рис. 10 в виде зависимости синего цвета. По основной вертикальной оси (слева) показано предельное число речевых каналов VoIP, которое может поддерживать выделенная (без округления) сота LTE FDD в расчете на эффективную рабочую полосу $3 \text{ МГц} \cdot 5/6 = 2,5 \text{ МГц}$.

Рисунок 5

Распределение ресурса каналов в сети McWILL

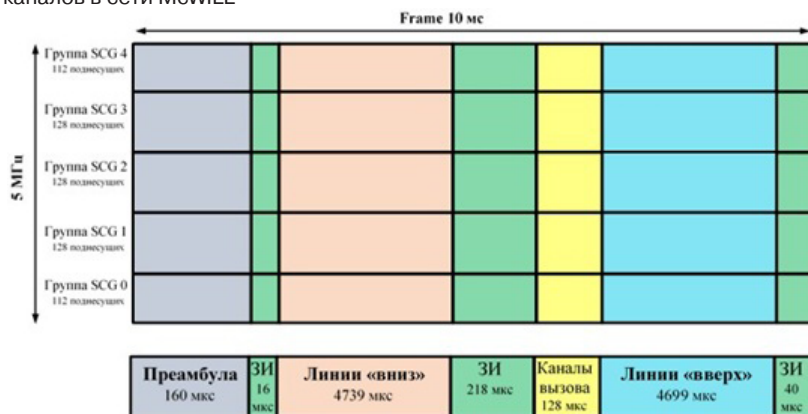


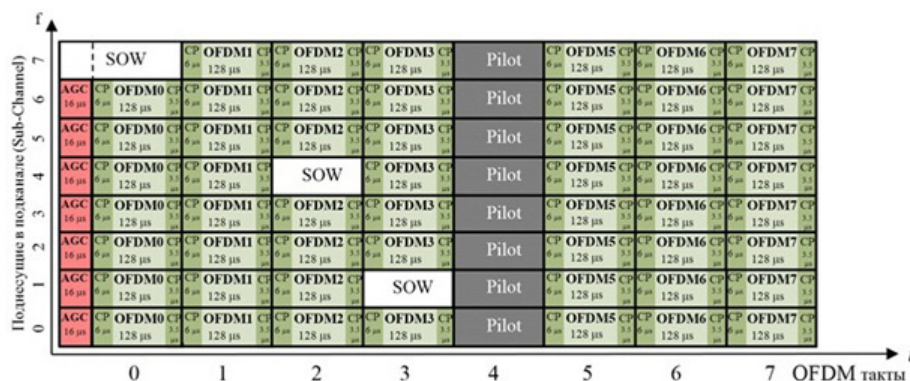
Рисунок 6

Временная структура линий «вниз» и «вверх» во фрейме McWILL



Рисунок 7

Структура ресурсного блока (Sub-Channel), распределяемого абонентским соединениям в сети McWILL



По горизонтальной оси отложено ОСШ на входе демодулятора в дБ.

Структура каналов и линейка скоростей кодирования в McWILL. Сеть McWILL работает в режиме TDD. Базовой считается полоса 5 МГц. Поднесущие OFDM имеют разнос на 1 МГц/128 = 7,8125 кГц. По краям спектра используют защитные полосы по 16 поднесущих. Поэтому всего доступно $128 \cdot 5 - 16 \cdot 2 = 608$ поднесущих.

Множество поднесущих разделено на пять подгрупп (Sub Carrier Group (SCG)), как показано на рис. 5. При этом крайние SCG0 и SCG4 содержат по 112 поднесущих, а остальные SCG — по 128. Время в McWILL разделено на фреймы (Frames) по 10 мс.

Преамбулы, каналы вызова и защитные интервалы следует рассматривать как необходимые затраты для организации работы. Полезным является ресурс, связанный с окнами — линии «вниз» и линии «вверх». Аналог ресурсного блока (RB) LTE в McWILL — подканал (Sub-Channel), объединяющий восемь поднесущих на восьми последовательных символах OFDM. Соответствующая временная структура показана на рис. 6. Видно, что каждая линия содержит четыре тайм-слота (TS): три — обычные, один — расширенный. Ниже показано, что расширенный TS, содержащий 10 OFDM тактов, не позволяет вместить дополнительный речевой канал ни при каких реальных показателях качества. Поэтому при расчетах емкости будем предполагать, что все четыре TS — обычные.

На рис. 7 приведена частотно-временная структура отдельного Sub-Channel. Канал Pilot имеет то же самое назначение, что и RS в LTE. Окна SOW свободны от трансляции и предназначены для контроля помех. Эти ресурсы следует рассматривать, как затраты на вспомогательные функции.

Кроме того, McWILL поддерживает три выделенных служебных канала управления: BCH [8, п. 4.5.2.2.1] (широковещательного управления); RRCH [8, п. 4.5.2.2.2] (ответных корректировок параметров на вызовы); RARCH [8, п. 4.5.2.2.3] (ответов на запросы соедине-

ний). Они располагаются в каждом фрейме, в каждой частотной группе, в позиции слота TS2, где занимают Sub-Channel 1+2, Sub-Channel 3 и Sub-Channel 4+5 [8, стр. 48, 49], соответственно. Еще существует канал трансляции «чистой» несущей DC, который транслируется в каждой из частотных групп постоянно в позиции поднесущей 63. Используя эти данные, выполним первые два шага предложенной 4-шаговой методики расчета емкости.

Шаг 1. Всего в McWILL на интервале 10 мс в линии «вниз» содержатся ресурсных элементов: $(640 - 32)[\text{Sub-Carriers}] \cdot (8[\text{OFDM Symbol}] \cdot 4[\text{TS}] = 19456 [\text{RE}] = 304 [\text{Sub-Channel}]$.

Шаг 2. В каждые 10 мс McWILL расходует ресурсных элементов на каналы управления:

BCH: $5[\text{SCG}] \cdot (64[\text{RE/Sub-Channel}] \cdot 2 [\text{Sub-Channel}]) = 640 [\text{RE}]$;

RRCH: $5[\text{SCG}] \cdot (64[\text{RE/Sub-Channel}] \cdot 1 [\text{Sub-Channel}]) = 320 [\text{RE}]$;

RARCH: $5[\text{SCG}] \cdot (64[\text{RE/Sub-Channel}] \cdot 2 [\text{Sub-Channel}]) = 640 [\text{RE}]$;

DC: $5[\text{SCG}] \cdot (8[\text{OFDM Symbol}] \cdot 4[\text{TS}] = 160 [\text{RE}]$.

В сумме это дает 1760 [RE]. В результате получается, что на интервале 10 мс для абонентских соединений в McWILL доступно:

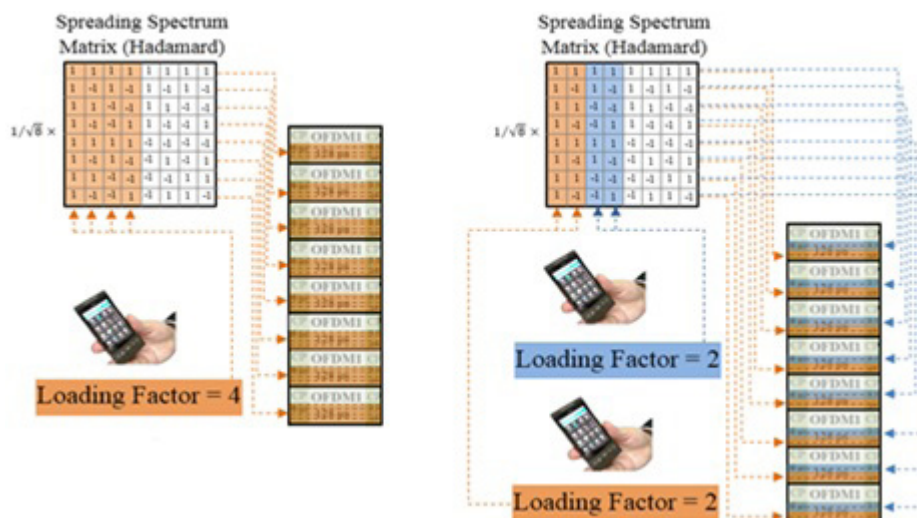
$19456 [\text{RE}] - 1760 [\text{RE}] = 17696 [\text{RE}] = 276,5 [\text{Sub-Channel}] \approx 276 [\text{Sub-Channel}]$.

Для выполнения оставшихся двух шагов нужно уточнить структуру кодера, допустимые виды модуляции и технологию мультиплексирования в McWILL. Поток абонентских данных в сети McWILL разбивают на блоки размером по 96 бит. Каждый блок кодируют кодом RC (96,106), способным исправить одну ошибку, и получают последовательность кадров размером 106 бит [8, п.3.5.2.1]. McWILL использует четыре вида модуляции [8, п. 3.5.3.1–3.5.3.4]: QPSK, 8-PSK, QAM16 и QAM64.

Мультиплексирование потоков абонентских данных в ресурс Sub-Channel осуществляется с помощью кодового уплотнения. Для этого каждому абоненту

Рисунок 8

Схема кодового разделения на такте OFDM в McWILL при организации одного и двух абонентских соединений через один Sub-Channel (в обоих случаях суммарный показатель LF=4)



распределяют от 1 до 8 ортогональных кодовых последовательностей Адамара, задающих распределение фаз поднесущих на текущем такте OFDM [8, п. 3.4.3.1]. Число кодов, выделенное абоненту, называют коэффициентом нагрузки (Loading Factor, LF). В зависимости от качества канала можно с помощью выбора LF управлять коэффициентом расширения спектра и скоростью передачи. Этот инструмент также помогает в обеспечении ЭМС со сторонними сетями и позволяет упростить задачу планирования сети McWILL [9, 10]. В условиях нестабильных каналов его применение повышает помехоустойчивость работы модемов [11, 12].

В McWILL поддерживается режим кодового разделения (CDMA), допускающий разделение ресурса одного Sub-Channel между тремя абонентскими линиями. Че-

тыре линии нельзя укомплектовать в один Sub-Channel даже в расширенном TS и при самых высоких показателях ОСШ. На рис. 8 приведены примеры, поясняющие технику кодового разделения ресурса Sub-Channel в McWILL.

На рис. 9 показаны схемы распределения LF на ресурсе одного TS для выделенного Sub-Channel, применяемые для мультиплексирования двух и трех абонентских линий в условиях обеспечения полной нагрузки.

При мультиплексировании трех линий каждому абоненту в пределах одного TS выделяется 18 символов OFDM, что при модуляции QAM64 обеспечивает емкость в 108 бит. Этого достаточно для передачи одного кадра размера 106 бит (96 полезных). При мультиплексировании двух линий каждому абоненту в пределах

Рисунок 9

Схемы кодового уплотнения двух и трех абонентских линий

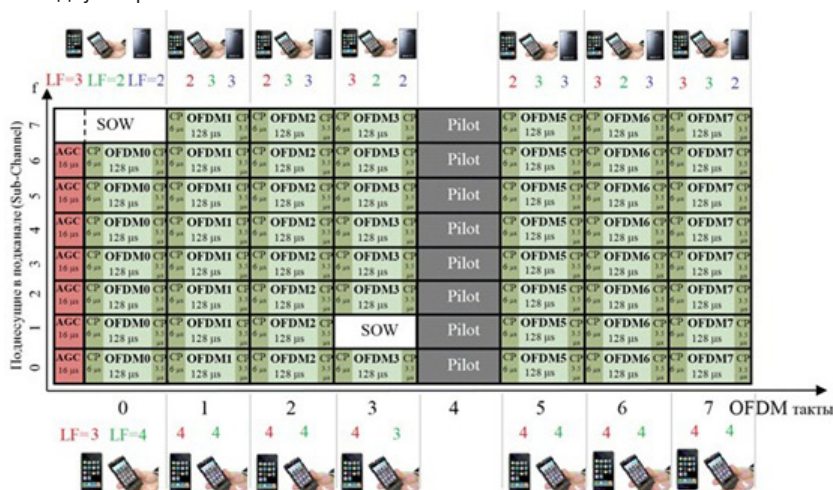


Таблица 3

Число Sub-Channel, необходимое для передачи речевого кадра G.729

№ пп	Схема модуляции	Loading Factor (LF)	Размер кадра, бит	Число доступных RE в Sub-Channel (за вычетом Pilot и SOW)	Число Sub-Channel на речевой канал (на интервале 10 мс)	Выигрыш от кодирования, дБ*	Требуемое ОСШ на входе демодулятора, дБ
1	QPSK	1	106	54	Нет вариантов на 10 мс	10,9	0,53
2	QPSK	2	106	54	1	7,91	3,54
3	QPSK	4	106	54	1	4,90	6,55
4	QPSK	8	106	54	1	1,89	9,56
5	8-PSK	1	106	54	Нет вариантов на 10 мс	10,7	5,42
6	8-PSK	2	106	54	1	7,71	8,44
7	8-PSK	4	106	54	1	4,70	11,5
8	8-PSK	8	106	54	1	1,69	14,5
9	16-QAM	1	106	54	0,5	11,0	7,26
10	16-QAM	2	106	54	0,5	8,00	10,3
11	16-QAM	27/7 (для уплотнения двух каналов)	106	54	0,5	5,15	13,1
12	16-QAM	4	106	54	0,5	4,99	13,3
13	16-QAM	8	106	54	0,5	1,98	16,3
14	64-QAM	1	106	54	1/3	11,1	13,1
15	64-QAM	2	106	54	1/3	8,13	16,1
16	64-QAM	18/7 (для уплотнения трех каналов)	106	54	1/3	7,04	17,2
17	64-QAM	4	106	54	1/3	5,12	19,2
18	64-QAM	8	106	54	1/3	2,11	22,2

* Расчет проводился с учетом возможности исправления одной ошибки кодеком RC (96, 106).

TS выделяется 27 символов, обеспечивающих для модуляции QAM16 емкость 108 бит. Этого достаточно для трансляции одного кадра размера 106 бит (96 полезных). Для мультиплексирования четырех каналов требуется как минимум $18 \cdot 4 = 72$ символа OFDM. Но даже в расширенном TS содержится только $9 \cdot 8 - 3 = 69$ символов, что объясняет невозможность такой степени уплотнения в McWILL.

Согласно рис. 2, один кадр речевого обмена в McWILL содержит 96 бит. Это показывает, что при наличии достаточного уровня качества связи (ОСШ в радиоканале) Sub-Channel способен поддержать до трех речевых со-

единений. Для короткого сообщения ограничение составит 12 байт информации (эквивалентно сообщению из двух—трех слов или передаче 29 десятичных цифр). Используя эти данные, выполним оставшиеся два шага методики расчета емкости для McWILL.

Шаг 3. В табл. 3 приведены расчеты требуемого числа Sub-Channel в сети McWILL для передачи речевого кадра G.729 (см. рис. 2). Также в таблице для каждого уровня ОСШ показаны соответствующие тип модуляции и коэффициент расширения спектра LF.

Шаг 4. Сортируем данные табл. 3 по возрастанию

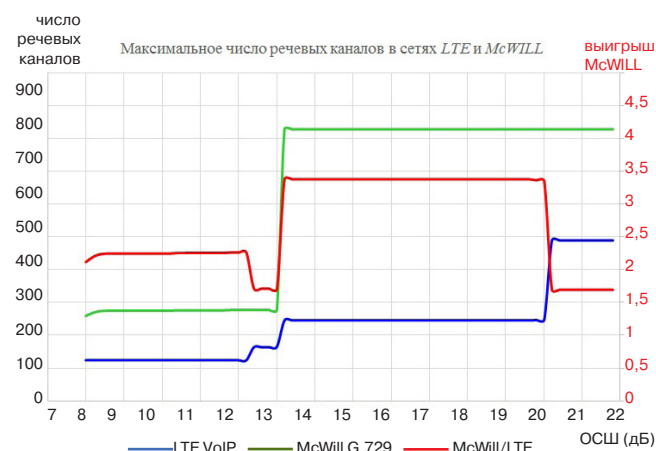
Таблица 4

Основные градации качества связи McWILL

№ пп	Схема модуляции	Loading Factor (LF)	Размер кадра, бит	Число доступных RE в Sub-Channel (за вычетом Pilot и SOW)	Число Sub-Channel на речевой канал (на интервале 10 мс)	Выигрыш от кодирования, дБ	Требуемое ОСШ на входе демодулятора, дБ
1	QPSK	2	106	54	1	7,91	3,54
2	16-QAM	1	106	54	0,5	11,0	7,26
3	8-PSK	2	106	54	1	7,71	8,44
4	QPSK	8	106	54	1	1,89	9,56
5	16-QAM	27/7	106	54	0,5	5,15	13,1
6	64-QAM	1	106	54	1/3	11,1	13,1
7	64-QAM	2	106	54	1/3	8,13	16,1
8	64-QAM	18/7	106	54	1/3	7,04	17,2

Рисунок 10

Зависимости предельного числа речевых соединений в расчете на рабочую полосу 5 МГц для изолированных сот сетей LTE и McWILL от ОСШ



ОСШ и оставляем лучшие варианты (минимум числа Sub-Channel на речевое соединение). В результате получаем упорядоченную шкалу качества и соответствующие схемы модуляции-кодирования для McWILL, приведенные в табл. 4. Вычисляя отношения полученных ранее доступных показателей ресурса к значениям столбца 6, находим емкость соты McWILL в представлении числа поддерживаемых речевых соединений. Результат представлен на рис. 10 в виде зависимости зеленого цвета. По основной оси слева отложены значения предельного числа речевых каналов G.729.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 10 красная линия показывает выигрыш McWILL относительно LTE по показателю предельного числа поддерживаемых речевых соединений. Этот результат напрямую распространяется и на режимы обмена данными с размерами пакета, сопоставимыми с размером вокодерного блока. Поэтому он справедлив и для показателя производительности в режиме передачи коротких сообщений. Фактически, результаты определяют рост по эффективности использования ресурса. Значения выигрыша отложены по вспомогательной (правой) вертикальной оси. Видно, что в наиболее важном для практики диапазоне уровней ОСШ от 10 до 20 дБ сеть McWILL обеспечивает поддержку от 2,3 до 3,4 раз боль-

шего числа речевых каналов (большего числа коротких сообщений), чем LTE. И, следовательно, во столько же раз более эффективно использует ресурс радиоканала, что без сомнения нужно учитывать в методиках оценки экономической эффективности [13–17]. Только в небольшой области ОСШ от 12,5 до 13 дБ выигрыш снижается до значения 1,69 за счет более высокой эффективности TURBO кодирования, применяемого в LTE. Также при ОСШ, превосходящих 20 дБ, выигрыш сокращается до 1,69. Объясняется это технологическими причинами, не допускающими в настоящий момент применять в радиотрассе схемы модуляции сложнее QAM64. В результате, начиная с определенного порогового ОСШ, не удастся повышать показатель уплотнения в режиме мультиплексирования. Но уровни ОСШ более 20 дБ не часто поддерживают в речевых соединениях из-за экономии энергоресурса.

ВЫВОДЫ

1. Несмотря на применение в сетях LTE специальных методов сжатия заголовков кадров высших уровней (RTP\UDP\IP) в соединениях VoIP и в режиме обмена короткими сообщениями, избыточные затраты на передачу остаются значительными (порядка 55%).
2. В транкинговых широкополосных сетях стандарта McWILL [18] для организации речевой связи и передачи коротких сообщений используется оригинальный протокол, в котором избыточные затраты меньше и составляют 20%.
3. Проведенный анализ показал, что при использовании рабочей полосы 3 МГц (линии «вверх» 3 МГц + линии «вниз» 3 МГц) доля служебного трафика в LTE становится значительной. Это объясняет его низкую эффективность для организации транкинговой связи, ориентированной на функционирование в условиях ограниченной полосы.
4. Сравнительный анализ показал, что эффективность использования ресурса радиоканала при передаче речи и коротких сообщений в сети стандарта McWILL до 3,4 раз выше, чем у сетей стандарта LTE.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 3GPP TS 36.104 V8.5.0 (2009-03) // 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 8).

2. Sesia S., Toufik I., Baker M. LTE – the UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice / John Wiley&Sons, 2011. – P. 752.
3. ROust Header Compression (ROHC): Framework and four profiles: RTP, UDP, ESP and uncompressed / RFC 3095, 2001.

4. ROust Header Compression Version 2 (ROHCv2): Profiles for RTP, UDP, IP, ESP and UDP-Lite / RFC 5225, 2008.
5. Cox C. An Introduction to LTE: LTE, LTE-Advanced, SAE and 4G Mobile Communications / John Wiley&Sons, 2012.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Р. 324.
- 6.** 3GPP TS 136.331 Version 13.1.0. LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification 04. 2016.
- 7. Золотарев В.В., Овечкин Г.В.** По-мехоустойчивое кодирование. Методы и алгоритмы. Справочник. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 126 с.
- 8.** YD. Industry Standard for Communications in PRC. YDT 1956-2009. Technical Requirements for Air Interface of SCDMA Wideband Radio Access Network System. Issued by MIIT of PRC. – 15.06.2009. – Р. 149.
- 9. Шорин О.А., Бокк Г.О.** Анализ электромагнитной совместимости стандартов четвертого поколения // Первая миля. – 2016. – № 1(54). – С. 44–53.
- 10. Шорин О.А., Бокк Г.О., Сухацкий С.В.** Методы улучшения межсистемной ЭМС для систем мобильной связи четвертого поколения // Электросвязь. – 2016. – № 2. – С. 35–41.
- 11.** Патент № 2221330 РФ. Широкополосная система радиосвязи КВ-диапазона/ О.Ф. Бокк, С.С. Аджемов, В.А. Маковский, Г.О. Бокк. Заявлено 10.01.2002. Опубл. 10.01.2004, Бюл. № 1. – С. 906.
- 12.** Патент № 2209511 РФ. Широкополосная система радиосвязи КВ диапазона/ О.Ф. Бокк, В.А. Маковский, С.С. Аджемов, Г.О. Бокк. Заявлено. 30.07.2001. Опубл. 27.07.2003, Бюл. № 21. – С. 629.
- 13. Volodina E., Plossky A.** Influence of Economic Factors on Clustering of Regions for the Digital Dividend Implementation in a Number of Specific Conditions // IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. “EMC EUROPE 2012 – International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Proceedings”. – 2012. – Р. 6396914.
- 14. Веерпалу В.Э., Володина Е.Е., Де-вяткин Е.Е.** Управление использованием радиочастотного спектра. Конверсия и экономика. Монография. – М., 2011. – 184 с.
- 15. Volodina E., Plossky A.** Features of the Digital Dividend Implementation in Conditions of Great Population Density Discontinuity and Limitation of the Frequency Resource / Proceedings of EMC Europe 2011 York. – 10th International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2011. – Р. 664–669.
- 16. Володина Е.Е.** Экономические вопросы использования радиочастотного спектра как производственного ресурса и объекта государственного регулирования // Электросвязь. – 2015. – № 4. – С. 50–54.
- 17. Бутенко В.В., Веерпалу В.Э., Володина Е.Е., Девяткин Е.Е.** Пути развития широкополосного доступа в России // Электросвязь. – 2014. – № 10. – С. 22–26.
- 18. Шорин О.А., Косинов М.И., Каспары Р.Ю., Осин В.В.** Рынок корпоративных пользователей широкополосного мобильного доступа McWILL // Электросвязь. – 2017. – № 1. – С. 16–21.

Получено 28.12.16

ГП КС анонсирует парный запуск геостационарных спутников связи

В начале февраля в ГП КС состоялись заседание Научно-технического совета (НТС) и совещание по вопросам развития перспективных спутников.

Работу НТС открыли генеральный директор ФГУП «Космическая связь» Юрий Прохоров и генеральный директор АО «ИСС» Николай Тестоедов. В нем также приняли участие генеральный директор ФГУП НИИР Валерий Бутенко, специалисты Россвязи, ГП КС, ОАО «Объединенная ракетно-космическая корпорация», АО «ИСС» и ФГУП «НИИР». Тема совместного НТС: перспективы развития космических аппаратов (КА) серии «Экспресс». Юрий Прохоров подчеркнул, что НТС проходит в год 50-летия ГП КС и все это время оператора и решетнёвскую фирму связывает тесное сотрудничество: «Символично, что Научно-технический совет двух предприятий в совместном формате проводится впервые». Он также выразил надежду, что объединение усилий ГП КС и АО «ИСС», высокий

профессиональный уровень и научный потенциал специалистов будут способствовать развитию перспективных систем спутниковой связи и вещания. Николай Тестоедов сделал акцент на партнерстве компаний в глобальном масштабе: «Мы обеспечили услугами связи и вещания жителей не только нашей страны, но и всего мира: “ИСС” – как производитель космических аппаратов, ГП КС – как оператор». С докладом о Концепции ЦЦП «Развитие орбитальной группировки спутников связи и вещания гражданского назначения, включая спутники на высокоэллиптической орбите, на период 2017–2025 гг.» выступил заместитель генерального директора ГП КС по инновационному развитию Евгений Буйдинов. Были рассмотрены предложения АО «ИСС» по проектированию, разработке и изготовлению модулей полезных нагрузок для перспективных телекоммуникационных спутников, обсуждены вопросы развития спутниковых платформ «Экспресс-1000» и

«Экспресс-2000».

Под руководством заместителя руководителя Россвязи Игоря Чурсина в ГП КС также состоялось совещание с участием заместителя генерального директора Госкорпорации «Роскосмос», генерального директора ОАО «Объединенная ракетно-космическая корпорация» Юрия Власова, Юрия Прохорова и Николая Тестоедова. На нем обсуждались вопросы создания, испытаний и сдачи в эксплуатацию спутников связи и вещания «Экспресс-80» и «Экспресс-103». Данный проект предусматривает первый в истории российской космонавтики парный запуск геостационарных спутников связи среднего класса, причем для перемещения спутников в заданные орбитальные позиции будет применена технология довыведения с использованием электрореактивных двигателей самих спутников. Запуск КА «Экспресс-80» и «Экспресс-103» запланирован на III квартал 2019 г.