

В таком случае результирующий сжатый пульс, получаемый от такого сенсора, определяет результат измерения параметра. Разность времени задержки между пульсами и дает нам информацию о численном значении измеряемого параметра.

#### Список используемых источников

1. Wilson, W. C., Malocha, D. C., Kozlovski, N., Gallagher, D. R., Fisher, B., Pavlina, J., Saldanha, N., Puccio, D., Atkinson, G. M.: Orthogonal frequency coded SAW sensors for aerospace SHM applications. IEEE Sens. J., 2009, 9, (11), pp. 1546–1556.
2. Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В., Кучерявый Е. А. Самоорганизующиеся сети. СПб.: Любавич, 2011. 312 с.
3. Пирмагомедов Р. Я., Кучерявый Е. А., Глушаков Р. И., Киричек Р. В., Кучерявый А. Е. Живые организмы в киберпространстве – проект «Биодрайвер» // Электросвязь. 2016. № 1. С. 47–52.
4. Пирмагомедов Р. Я., Киричек Р. В., Кучерявый А. Е. Бактериальные наносети // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 2 (10). С. 5–10.
5. Pohl A., Ostermayer G., Reindl L., Seifert F. Monitoring the tire pressure at cars using passive SAW sensors // 1997 IEEE International Ultrasonics Symposium, pp. 471–474.
6. Benes E., Gröschl M., Seifert F., Pohl A. Comparison between BAW and SAW sensor principles // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol. 45, No. 5, September 1998.
7. Carter S. E., Malocha D. C. SAW device implementation of a weighted stepped chirp code signal for direct sequence spread spectrum communication systems // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol. 47, pp. 967–973, July 2000.

## ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТЕЙ eMBMS LTE

**Х. Аль-Осаими, А.А. Никитин, А.Е. Рыжков**

*Наблюдается значительный рост пакетного трафика, потребляемого абонентами сетей радиодоступа и прежде всего видеотрафика. Применение технологии eMBMS в сетях LTE позволяет существенно увеличить величину пользовательской нагрузки. Рассмотрено выделение канального ресурса при использовании eMBMS и произведена оценка пропускной способности сети.*

*Ключевые слова: eMBMS, LTE, канальный ресурс, пропускная способность, видеотрафик*

### LTE eMBMS NETWORK THROUGHPUT ASSESSMENT

Nikitin A., Ryzhkov A., Halid A.-O.A.M.

*There is a significant packet traffic rise in the radio access networks and especially video traffic. The eMBMS technology application in LTE networks can be of great use in subscribers load increase. Channel resource allocation for LTE eMBMS is considered and the network throughput is discussed.*

*Keywords: eMBMS, LTE, channel resource, throughput, video*

На текущий момент самым эффективным способом разгрузки ядра сети и сети радиодоступа при одновременном увеличении объёмов передаваемых данных и доходов оператора является технология широковещания Evolved Multimedia Broadcast/Multicast Service (eMBMS). eMBMS – логическое продолжение технологии MBMS, специфицированной в UMTS [1]. Смысл технологии eMBMS заключается в выделении одного сквозного канала группе пользователей. Например, если группа, состоящая из 10 абонентов, смотрит один и тот же телевизионный канал, то при использовании классической схемы будет выделено 10 сквозных каналов, а при использовании eMBMS – всего один. При этом глобальная мобильность обеспечена так же, как и в схеме точка-точка. На текущий момент многие операторы тестируют и развёртывают сети LTE с технологией eMBMS. Операторы KT и Verizon Wireless запустили eMBMS в коммерческую эксплуатацию в Южной Корее и США [2].

Специфицированы ограничения по выделению канального ресурса. При частотном дуплексе для передачи eMBMS трафика не используют субкадры 0, 4, 5, 9, так как в них передают сигналы синхронизации и пейджинга. При временном дуплексе не используют субкадры 0, 1, 2, 5, 6. Следовательно, под вещание может быть задействовано не более 60 % канального ресурса. В дальнейшем планируют специфицировать использование целых полос, которые будут специально выделены под вещание.

Начальную информацию, относящуюся к eMBMS, UE получает из SIB2, SIB13 и SIB15. Канальный ресурс для eMBMS выделяют в виде периодически повторяющихся структур. Специфицированы 2 метода выделения канального ресурса: покадровый и в виде блоков из 4 последовательных кадров [3]. Структуру выделяемого канального ресурса определяют следующие параметры: *RadioFrameAllocationPeriod* – период следования кадров или блоков, *RadioFrameAllocationOffset* – смещение выделяемых кадров или блоков. Также передают индикаторы субкадров, предназначенных для eMBMS в выделенных кадрах.

При покадровом выделении канального ресурса для MBMS выделяют кадры с номерами SFN, для которых:

$$SFN \bmod(\text{radioFrameAllocationPeriod}) = \text{radioFrameAllocationOffset}$$

где *radioFrameAllocationPeriod* может быть равен 1, 2, 4, 8, 16 или 32.

При использовании блоков из 4-х кадров выражение:

$$SFN \bmod(\text{radioFrameAllocationPeriod}) = \text{radioFrameAllocationOffset}$$

определяет номер первого кадра блока. При этом *radioFrameAllocationPeriod* может принимать значения 4, 8, 16, или 32.

На рисунке 1 в левой части страницы показана конфигурация выделения канального ресурса блоками по 4 кадра, где *radioFrameAllocationPeriod* = 8 и

$radioFrameAllocationOffset = 2$ . Субкадры, задействованные под eMBMS, выделены заливкой и промаркированы числами в соответствии с номерами каналов. Субкадр 1 для передачи eMBMS в примере не используют.

| SFN | #0 | #1 | #2 | #3 | #4 | #5 | #6 | #7 | #8 | #9 |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 1   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 2   |    |    | 1  | 1  |    |    |    | 1  |    |    |
| 3   |    |    | 1  | 1  |    |    | 1  |    |    |    |
| 4   |    |    | 1  | 1  |    |    |    | 1  |    |    |
| 5   |    |    | 1  | 2  |    |    |    |    | 2  |    |
| 6   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 7   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 8   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 9   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 10  |    |    | 2  | 2  |    |    |    | 2  |    |    |
| 11  |    |    | 2  | 2  |    |    | 2  |    |    |    |
| 12  |    |    | 2  | 3  |    |    |    | 3  |    |    |
| 13  |    |    | 3  | 3  |    |    |    |    | 3  |    |
| 14  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 15  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 16  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 17  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 18  |    |    | 1  | 1  |    |    |    | 1  |    |    |
| 19  |    |    | 1  | 1  |    |    | 1  |    |    |    |
| 20  |    |    | 1  | 1  |    |    |    | 1  |    |    |
| 21  |    |    | 1  | 2  |    |    |    |    | 2  |    |
| 22  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 23  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 24  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 25  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 26  |    |    | 2  | 2  |    |    |    | 2  |    |    |
| 27  |    |    | 2  | 2  |    |    | 2  |    |    |    |
| 28  |    |    | 2  | 3  |    |    |    | 3  |    |    |
| 29  |    |    | 3  | 3  |    |    |    |    | 3  |    |
| 30  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 31  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 32  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 33  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

Рис. 1. Выделение канального ресурса для eMBMS

Выделяемый под eMBMS канальный ресурс представляет собой структуру, периодически повторяющуюся через число кадров, определяемое параметром  $commonSF-AllocPeriod$ . На рисунке 1  $commonSF-AllocPeriod = 16$ , т. е. первый период начинается с кадра 0 и заканчивается кадром 15, следующий начинается с кадра 16 и заканчивается кадром 31 и т. д. В пределах одного  $commonSF-AllocPeriod$  все выделенные для eMBMS субкадры нумеруют от 0 до последнего. Для каждого канала прописан параметр  $sf-AllocEnd$ . Это номер последнего субкадра, принадлежащего данному каналу, в последовательности бит в блоке. На рисунке 1 для канала 1  $sf-AllocEnd = 9$ , для канала 2  $sf-AllocEnd = 18$  и для канала 3  $sf-AllocEnd = 23$ .

Логический канал управления Multicast Control Channel (MCCH) транслируют периодически с интервалом  $mcch-RepetitionPeriod$  в 32, 64, 128 или 256 кадров. Периодическая передача канала MCCH необходима для обеспечения мобильности абонентов, пользующихся услугами eMBMS. Для определения кадров, где транслируют канал MCCH, используют сдвиг  $mcch-Offset$ , и номера кадров SFN определяют по формуле:

$$SFN \bmod (mcch-RepetitionPeriod) = mcch-Offset$$

Номер субкадра в кадре, где размещен канал MCCH, индцирован параметром  $SF-AllocInfo$ , длиной в 6 бит, где логической единицей помечен соответствующий субкадр, а остальные биты принимают нулевое значение. Канал MCCH передают в кадрах, выделенных для eMBMS, поэтому он занимает один субкадр из канального ресурса, выделенного конкретному каналу.

Более темной засветкой на рисунке 1 выделены субкадры для передачи сигнализации в соответствии с параметром  $mcch-SchedulingPeriod$  (MSP). MSP – это время, определяемое числом кадров, через которое на уровне MAC периодически передают сигнальную информацию о распределении канально-го ресурса между отдельными логическими каналами, объединенными в общий

транспортный многоадресный канал. MSP может оставлять 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512 и 1024 кадров. На рисунке 1 для первого и третьего каналов  $MSP = 16$ . Для второго канала  $MSP > 16$ , поэтому в субкадре #3 кадра 21 сообщение MAC-сигнализации не передают. Хотя интервал MSP выбирает оператор, спецификации [2] требуют, чтобы для первого канала в списке величина MSP не превышала интервал *mcch-RepetitionPeriod*.

На физическом уровне для передачи eMBMS используют расширенный циклический префикс. В области управления допустимо использование циклического префикса, заданного в соте (нормальный или расширенный). При переходе от нормального циклического префикса к расширенному образуется небольшой временной промежуток Hole, в течение которого отсутствует передача. Пример структуры, когда в области управления задан нормальный циклический префикс, показан на рисунке 2.

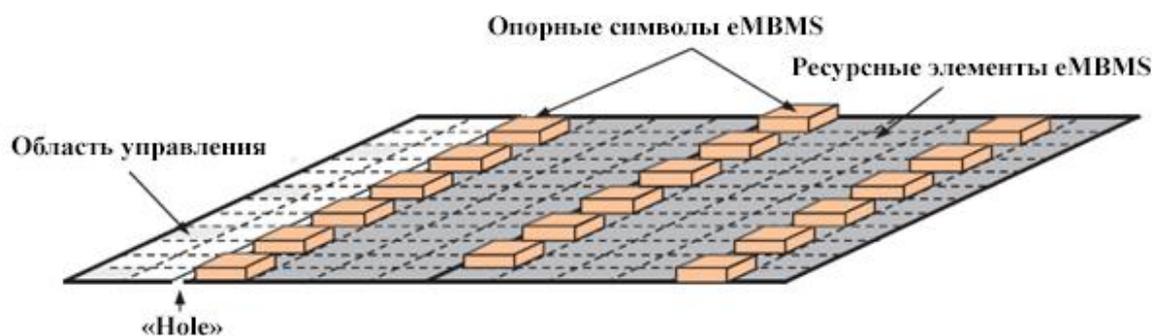


Рис. 2. Пример структуры субкадра eMBMS

Для абонентских станций, не поддерживающих Rel.12 спецификаций (normal), модуляционно-кодирующую схему выбирают из возможных 28 вариантов, приведенных в таблице 7.1.7.1-1 в [4]. Для станций, поддерживающих Rel.12 спецификаций (higherOrder), модуляционно-кодирующую схему выбирают из возможных 27 вариантов, приведенных в таблице 7.1.7.1-1А в [4], где кроме форматов передачи с модуляцией 4-ФМ, 16-КАМ и 64-КАМ, введены MCS с модуляцией 256-КАМ. Номер используемой модуляционно-кодирующей схемы прописывается в параметре *PMSH-InfoList* для каждого физического канала.

На основании описанной схемы выделения канального ресурса произведён расчёт максимальной пропускной способности сетей LTE с применением технологии eMBMS. Для случая использования модуляции 4-ФМ закономерно использование максимальной скорости кода, так как на границе соты UE принимает несколько одинаковых сигналов на одной частоте от разных eNodeB, благодаря чему увеличивается SINR. Обратная ситуация возникает при самом высоком порядке модуляции 256-КАМ. При использовании такой модуляции требуемого SINR на границе сот достигнуть невозможно. Поэтому расчёт производился для всех модуляционно-кодирующих схем, кроме схем с модуляцией

256-КАМ и схем с низкими скоростями кода при модуляции 4-ФМ. Результаты расчёта сведены в таблицу.

ТАБЛИЦА. Пропускная способность сети eMBMS LTE

| Модуляция | R <sub>код</sub> ×1024 | Сквозная скорость, Мбит/с |        |        |        |
|-----------|------------------------|---------------------------|--------|--------|--------|
|           |                        | 5 МГц                     | 10 МГц | 15 МГц | 20 МГц |
| 4-ФМ      | 602                    | 1,79                      | 3,59   | 5,39   | 7,19   |
| 16-КАМ    | 378                    | 2,25                      | 4,51   | 6,77   | 9,03   |
| 16-КАМ    | 490                    | 2,92                      | 5,85   | 8,78   | 11,7   |
| 16-КАМ    | 616                    | 3,68                      | 7,36   | 11,0   | 14,7   |
| 64-КАМ    | 466                    | 4,17                      | 8,35   | 12,5   | 16,7   |
| 64-КАМ    | 567                    | 5,08                      | 10,1   | 15,2   | 20,3   |
| 64-КАМ    | 666                    | 5,97                      | 11,9   | 17,9   | 23,8   |
| 64-КАМ    | 772                    | 6,92                      | 13,8   | 20,7   | 27,6   |
| 64-КАМ    | 873                    | 7,82                      | 15,6   | 23,4   | 31,3   |
| 64-КАМ    | 948                    | 8,49                      | 16,9   | 25,4   | 33,9   |

Скорость передачи видео в формате HDTV 720p (1280x720) с частотой 30 кадров в секунду с применением кодека H.264 составляет до 1 Мбит/с. Кодеки eMBMS не отличаются от кодеков для просмотра потокового видео в режиме одноадресного соединения с сервером. Из результата расчётов в таблице следует, что посредством технологии eMBMS можно обеспечить до 30 каналов высокой чёткости и в разы больше каналов более низкого качества.

#### Список используемых источников

1. Волков А. Н., Рыжков А. Е., Сиверс М. А. UMTS – стандарт сотовой связи 3-го поколения. СПб.: Линк, 2008. 224 с. ISBN 5-98595-011-5.
2. Global Mobile Suppliers Association. URL: <http://www.gsacom.com/>
3. 3GPP TS 36.331 V12.7.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification. 2015. 453 p.
4. 3GPP TS 36.213 V12.7.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures. 2015. 241 p.

## ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ НЕПОДСМАТРИВАЕМОГО ГРАФИЧЕСКОГО ПАРОЛЯ

**В.В. Архипов, В.А. Яковлев**

*С самых общих позиций рассматривается задача построения неподсматриваемого пароля на основе использования таблицы соответствия вводных и парольных символов. Рассмотрены атаки на систему паролирования, получены соотношения для оценок вероятностей угадывания пароля и подбора пароля для различного числа возможных атак (подсматриваний) на процедуру ввода пароля.*

*Ключевые слова: аутентификация, паролирование, графический пароль, атака подсматривания, неподсматриваемый пароль.*