Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 http://naukovedenie.ru/

Том 7, №1 (2015) <a href="http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-1">http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-1</a>

URL статьи: http://naukovedenie.ru/PDF/40TVN115.pdf

DOI: 10.15862/40TVN115 (http://dx.doi.org/10.15862/40TVN115)

УДК 621.396.94

# Казачков Виталий Олегович

ФГОБУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Россия, Москва 1 Аспирант E-mail: Elektronik89@rambler.ru

Исследование метода оценки отношения сигнал/шум сигнала Long Term Evolution в условиях идеальной и неидеальной символьной синхронизации

-

<sup>1 142121</sup> Московская область, г. Подольск, ул. Генерала Смирнова д. 3, кв. 192

Аннотация. Точное определение текущего отношения сигнал/шум - критерий, влияющий на корректное решение широкого ряда задач. Например, при реализации схемы адаптивной модуляции и кодирования, при выборе нужной антенны в схеме разнесенного приема по методу автовыбора, и других адаптивных системах, при оценке качества функционирования систем и т.д. В статье рассматривается слепой метод определения текущего отношения сигнал шум, показывающий высокую точность оценки даже при низких значения лействующего отношения сигнал/шум. В системах ортогональным c мультиплексированием циклический префикс используется для борьбы с межсимвольной интерференцией. В данной статье рассмотрен метод, позволяющий использовать циклический префикс и для определения текущего отношения сигнал/шум. Метод основан на вычислении взаимно- и автокорреляционной функции по циклическому префиксу и постфиксу. В работе приводится математическое описание метода, а так же описание имитационной модели. Результаты моделирования показали, что при диапазоне значений отношений сигнал/шум от -5 до 30 дБ систематическая ошибка рассматриваемого метода составляет не более 0.004 дБ, а среднеквадратическое отклонение оценки текущего значения сигнал/шум не более 0.11 дБ. Так же в статье приведено исследование точности метода при неидеальной работе системы символьной синхронизации.

**Ключевые слова:** цифровая связь; слепая оценка; отношение сигнал/шум; ортогональное частотное мультиплексирование; циклический префикс; корреляционная функция; имитационное моделирование; канал с аддитивным белым Гауссовским шумом; рассинхронизация; нормированное среднеквадратическое значение.

### Ссылка для цитирования этой статьи:

Казачков В.О. Исследование метода оценки отношения сигнал/шум сигнала Long Term Evolution в условиях идеальной и неидеальной символьной синхронизации. // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №1 (2015) http://naukovedenie.ru/PDF/40TVN115.pdf (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/40TVN115

## Введение

Определение текущего отношения сигнал шум (ОСШ) в полосе сигнала ( Signal to Noise Ratio (SNR)) является важной задачей при оценке качества функционирования систем связи, кроме того SNR - это основной критерий для принятия решений в различных адаптивных системах, например, при использовании адаптивной модуляции и кодирования (в данной статье SNR вычисляется как отношение средней мощности сигнала к средней мощности шума). Значение SNR используется в когнитивном радио (cognitive radio) для динамического изменения параметров, в задачах идентификации видов модуляции для выставления правильного порогового значения и т.д.

В настоящее время существует множество методов, позволяющих получать оценку значения SNR в системах с ортогональным частотным мультиплексированием (Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)). Условно их можно разделить на два класса: Data-Aided (DA) [1-3] и Non-Data-Aided (NDA) [4-6]. DA методы показывают высокую эффективность, но требуют знания информации о принимаемом сигнале. Например, в случае использования пилотных последовательностей, они должны быть заранее известны на приемной стороне. Особенностью же NDA методов является возможность работы при полном отсутствии сведений о принимаемом сигнале. Методы на основе циклического префикса являются NDA методами, т.к. в данном случае знание последовательности, являющейся циклическим префиксом, на приемной стороне не требуется. Применение NDA методов так же позволяет избежать использования пилотных сигналов и тем самым повысить эффективность системы передачи информации, т.к. вместо пилотных сигналов, используемых для оценки качества связи, можно будет передать информацию от пользователей.

В данной статье предложен NDA метод определения SNR для OFDM систем, использующий циклический префикс. Для оценки SNR метод предполагает вычисление автокорреляционной функции (АКФ) циклического префикса и взаимнокорреляционной функции (ВКФ) циклического префикса и постфикса.

#### Модель OFDM сигнала

Общий принцип формирования OFDM сигнала можно писать следующим образом: последовательный поток данных конвертируется в параллельный после чего модулируется (применяется квадратурная фазовая (ФМ-4) или 16 и 64 позиционная квадратурная амплитудная модуляция (КАМ-16, КАМ-64)). Затем параллельный поток подвергается обратному быстрому преобразованию Фурье (ОБПФ) (IFFT – inverse fast Fourier transform). ОFDM символ, построенный на основе сигналов с прямоугольной формой огибающей, можно записать в следующем виде [7-9]:

$$S_{OFDM}(t) = \sum_{k=0}^{K-1} X_k e^{\frac{2j\pi kt}{T_S}}, \quad 0 \le t \le T_S$$
 (1)

где K - общее количество поднесущих,  $T_{S}$  - длительность символа,  $X_{k}$  - комплексный модулированный символ.

После выполнения ОБПФ добавляется циклический префикс, используемый в OFDM системах для борьбы с межсимвольной интерференцией. Применительно к OFDM системам это означает разделение длительности символа  $T_S$  на полезную часть  $T_U$  и защитный интервал  $\Delta$ . Часть сигнала, передаваемая на длительности защитного интервала, является циклическим префиксом OFDM символа, т.е. на длительности защитного интервала передается копия части

OFDM символа, взятая с "конца" полезного интервала [7-9]. Наглядно описанная операция представлена на рис. 1.

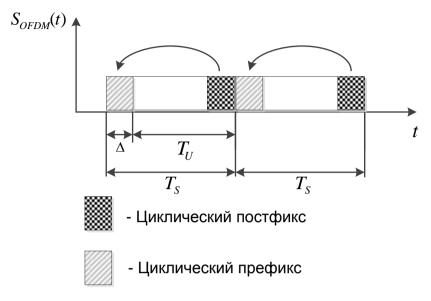


Рис. 1. Формирование циклического префикса. (составлено автором)

## Описание метода

На вход системы поступает смесь сигнала с шумом:

$$z(t) = S_{OFDM}(t) + n(t) \tag{2}$$

где  $S_{OFDM}(t)$  - переданный сигнал, n(t) - аддитивный белый гауссовский шум (АБГШ). Далее осуществляется последовательно-параллельное преобразование, после которого сигнал имеет структуру фрейма из N - отсчетов, где N - количество отсчетов, содержащихся в одном OFDM символе. Стоит отметить, что предложенный метод предусматривает идеальную работу системы символьной синхронизации, что позволит безошибочно выделять циклический префикс и постфикс из информационной последовательности. Так же в предложенном методе каждый фрейм на выходе последовательно-параллельного преобразователя нормируется таким образом, чтобы его средняя мощность была равна единице. Из накопленной последовательности выбираются отсчеты, соответствующие циклическому префиксу и постфиксу. Обозначим циклический префикс и постфикс как  $S_1(t)$  и  $S_2(t)$  соответственно.

С учетом шума в канале циклический префикс можно записать как

$$S_1(t) = S_{cp}(t) + n_1(t)$$
 (3)

где  $S_{cp}(t)$  — циклический префикс, а ввиду полной идентичности, следовательно и постфикс.

При этом постфикс будет иметь вид:

$$S_2(t) = S_{cp}(t) + n_2(t) \tag{4}$$

Найдем АКФ циклического префикса:

$$R_{S1S1}(\tau) = \int S_1(t) S_1^*(t-\tau) dt = \int [S_{cp}(t) + n_1(t)] [S_{cp}^*(t-\tau) + n_1^*(t-\tau)] dt =$$

$$= \int S_{cp}(t) S_{cp}^*(t-\tau) dt + \int S_{cp}(t) n_1^*(t-\tau) dt + \int n_1(t) S_{cp}^*(t-\tau) dt + \int n_1(t) n_1^*(t-\tau) dt$$
(5)

ВКФ между  $S_1(t)$  и  $S_2(t)$ :

$$R_{S1S2}(\tau) = \int S_1(t) S_2^*(t-\tau) dt = \int [S_{cp}(t) + n_1(t)] [S_{cp}^*(t-\tau) + n_2^*(t-\tau)] dt =$$

$$= \int S_{cp}(t) S_{cp}^*(t-\tau) dt + \int S_{cp}(t) n_2^*(t-\tau) dt + \int n_1(t) S_{cp}^*(t-\tau) dt + \int n_1(t) n_2^*(t-\tau) dt$$
(6)

При  $\tau = 0$  получим:

$$R_{S1S1}(0) = \int S_{cp}(t)S_{cp}^{*}(t)dt + \int S_{cp}(t)n_{1}^{*}(t)dt + \int n_{1}(t)S_{cp}^{*}(t)dt + \int n_{1}(t)n_{1}^{*}(t)dt$$
 (7)

$$R_{S1S2}(0) = \int S_{cp}(t)S_{cp}^{*}(t)dt + \int S_{cp}(t)n_{2}^{*}(t)dt + \int n_{1}(t)S_{cp}^{*}(t)dt + \int n_{1}(t)n_{2}^{*}(t)dt$$
 (8)

При усреднении получаемых значений  $R_{S1S1}(0)$  и  $R_{S1S2}(0)$ , составляющие  $\int S_{cp}(t) n_1^*(t) dt$  и  $\int S_{cp}(t) n_2^*(t) dt$ ,  $\int n_1(t) S_{cp}^*(t) dt$ ,  $\int n_1(t) n_2^*(t) dt$  в (6) и (7) будут стремиться к 0. Таким образом, при достаточно большом количестве усредняемых значений  $R_{S1S1}(0)$  и  $R_{S1S2}(0)$ , можно записать:

$$R_{S1S1mean}(0) = \frac{\sum_{i=1}^{M} R_{S1S1i}}{M} \approx \int S_{cp}(t) S_{cp}^{*}(t) dt + \int n_{1}(t) n_{1}^{*}(t) dt \approx P_{s} + P_{n}$$
(9)

$$R_{S1S2mean}(0) = \frac{\sum_{i=1}^{M} R_{S1S2i}}{M} \approx \int S_{cp}(t) S_{cp}^{*}(t) dt \approx P_{s}$$
 (10)

где М - объем усредняемой выборки значений КФ и АКФ.

Далее значение отношения сигнал/шум в полосе сигнала можно найти как:

$$\hat{SNR} = 10\log_{10}\left(\frac{R_{S1S2mean}(0)}{R_{S1S1mean}(0) - R_{S1S2mean}(0)}\right)$$
(11)

Однако такой метод имеет низкую точность оценки SNR [10]. В связи с этим была предложена другая методика. В качестве ключевого параметра, по которому будет определяться SNR, была выбрана мощность шума  $P_{noise}$ , определяемая как:

$$P_{noise} = \log_{10} \left( R_{S1S1mean}(0) - R_{S1S2mean}(0) \right) \tag{12}$$

Т.о. общий принцип предлагаемого метода заключается в следующем: на вход поступает смесь сигнала с шумом z(t), которая поступает на последовательно-параллельный преобразователь, затем сигнал в виде фрейма поступает на нормирующее устройство, на выходе которого смесь сигнала с шумом имеет мощность 1 Вт. Затем сигнал поступает на два селектора, один отвечает за выбор отсчетов, соответствующих циклическому префиксу, другой – постфиксу. После чего получаем 2 ветви обработки сигнала, отвечающих за расчет авто- и взаимнокорреляционной функции. После чего в каждой ветви вычисляется математическое ожидание и разность математического ожидания результата авто- и взаимнокорреляционной

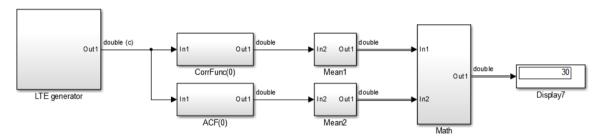
функции. На этом этапе получаем ключевой параметр, который затем пересчитывается в текущее значение отношения сигнал/шум.

## Имитационное моделирование

Оценка значения SNR проводилась на имитационной модели LTE сигнала в среде MATLAB/Simulink, при этом использовались следующие параметры: занимаемая полоса 1.4 МГц, циклический префикс нормальный, метод модуляции  $\Phi$ M-4, направление передачи downlink. Моделирование проводилось для канала с АБГШ при идеальной работе системы символьной синхронизации. Результаты моделирования получены с достоверностью 0.997, при этом относительная ошибка составляет не более  $2.6 \cdot 10^{-4}$ .

Зависимость полученных значений авто- и взаимнокорреляционной функции от текущего значения отношения сигнал/шум представлена на рис. 2.

Зависимость полученных нормированных значений авто- и взаимнокорреляционной функции от текущего значения отношения сигнал/шум представлена на рис. 3. Нормировка произведена к максимальному значению взаимнокорреляционной функции  $k = \max(R_{S1S2mean}(0))$ .



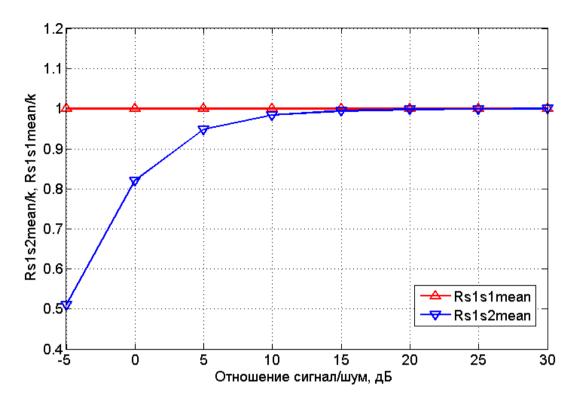
**Puc. 2.** Схема имитационной модели. (составлено автором)

При этом зависимость ключевого параметра P от текущего значения отношения сигнал/шум имеет вид, представленный на рис. 4. На интервале от -5 до 30 дБ данную зависимость можно аппроксимировать полиномом. Решение полученного полинома позволяет получить оценку значения отношения сигнал/шум.

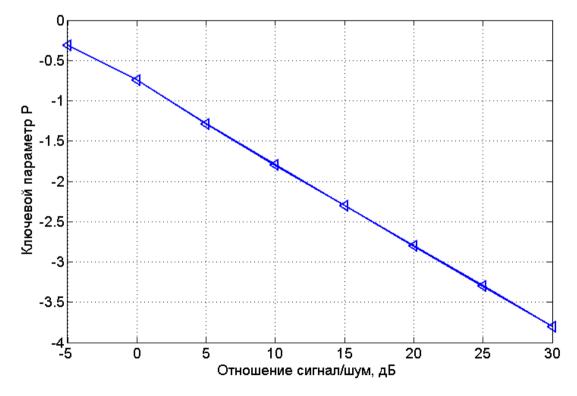
Результаты проведенного имитационного моделирования показали, что на интервале от -5 до 30 дБ предложенный метод обеспечивает систематическую ошибку оценки значения отношения сигнал/шум менее 0.004 дБ (рис. 5) при вычислении отношения сигнал/шум по 100 слотам длительностью 50 мс. Зависимость среднеквадратического отклонения (СКО) оценки значения сигнал/шум представлена на рис. 6. На интервале от -5 до 30 дБ предложенный метод обеспечивает СКО оценки значения отношения сигнал/шум менее 0.11 дБ, а на интервале от 5 до 30 дБ менее 0.07 дБ.

В работах по данной тематике для оценки точности метода часто используется нормированное среднеквадратическое значение (HCK3) (NMSE – Normalized Mean Square Error) ошибки оценки текущего ОСШ, вычисляемое по формуле [4-6]:

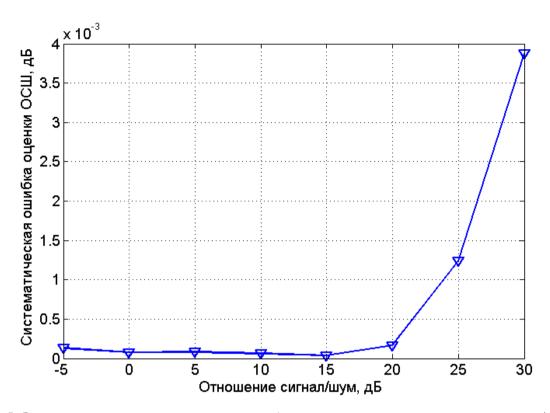
$$NMSE = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^{N} \left( \frac{S\hat{N}R - SNR}{SNR} \right)^{2}$$
 (13)



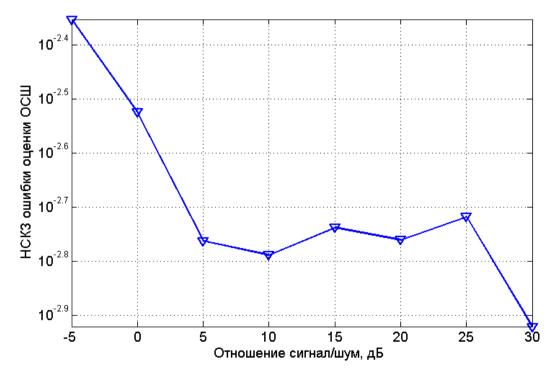
**Рис. 3.** Зависимость нормированных значений корреляционных функций от текущего отношения сигнал/шум. (составлено автором)



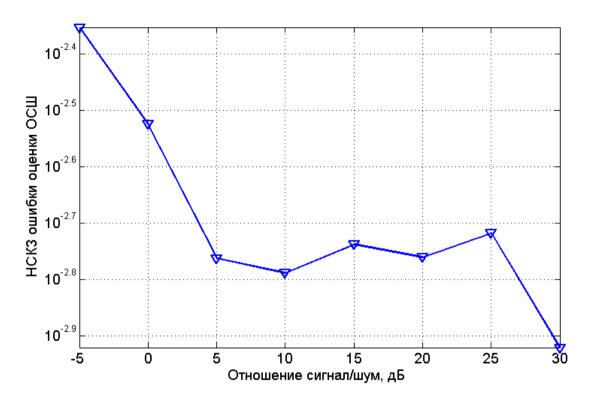
**Рис. 4.** Зависимость ключевого параметра от текущего отношения сигнал/шум. (составлено автором)



**Рис. 5.** Зависимость систематической ошибки оценки значения отношения сигнал/шум от текущего отношения сигнал/шум (составлено автором)



**Рис. 6.** Зависимость СКО ошибки оценки значения отношения сигнал/шум по от текущего отношения сигнал/шум. (составлено автором)

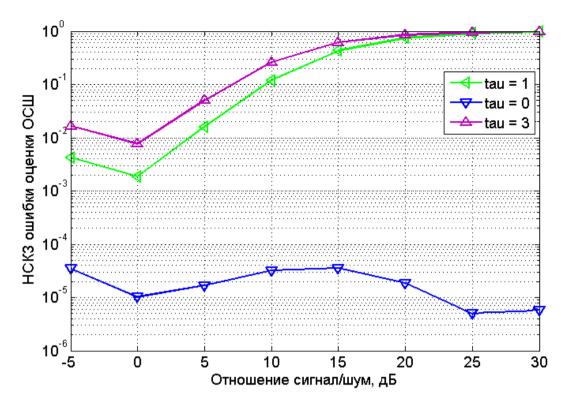


**Рис.** 7. Зависимость НСКЗ ошибки оценки ОСШ от текущего отношения сигнал/шум. (составлено автором)

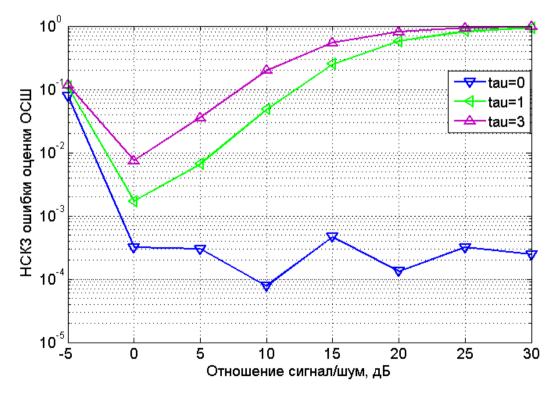
Зависимость НСКЗ ошибки оценки текущего ОСШ от текущего ОСШ представлена на рис. 7.

Анализ представленных результатов показал, что предложенный NDA метод позволяет добиться точности, соизмеримой с точностью DA методов, описанных в [1], но в более широком диапазоне отношений сигнал/шум.

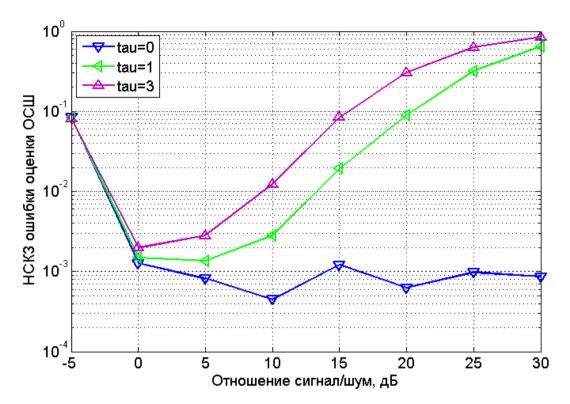
Рассмотренные выше характеристики метода представлены для случая идеальной работы системы символьной синхронизации. На рис. 8 - 10 представлены результаты моделирования для случая расширенного циклического префикса и для занимаемой полосы сигнала в 1.4, 5 и 20 МГц, соответственно. Кривая tau = 0 получена для случая идеальной работы системы символьной синхронизации (синяя линия), кривая tau = 1 для случая ошибки системы символьной синхронизации в 1 отсчет (зеленая линия) и кривая tau=3 для случая символьной рассинхронизации в 3 отсчета (лиловая линия). Анализ результатов показал, что для полосы 1.4 МГц и случая идеальной синхронизации НСКЗ ошибки оценки ОСШ для расширенного префикса имеет меньшее значение, чем для нормального, за счет большего количества составляющих циклический префикс и постфикс. Влияние символьной рассинхронизации даже на малое количество отсчетов привело к существенному ухудшению значения НСКЗ ошибки оценки ОСШ при высоких ОСШ, при этом влияние рассинхронизации для полосы в 20 МГц на НСКЗ ошибки оценки является наименьшим, а для полосы в 1.4 наибольшим. Т.о. рассинхронизация при полосе сигнала в 20 МГц позволяет использовать рассматриваемый метод оценки ОСШ при диапазоне ОСШ от 0 до 10 дБ, при этом НСКЗ ошибки оценки составляет не более порядка  $10^{-2}$ . При полосе в 1.4 и 5 МГц значение НСКЗ ошибки оценки составляет  $10^{-2}$  лишь при ОСШ 0 дБ.



**Рис. 8.** Зависимость НСКЗ ошибки оценки ОСШ от текущего отношения сигнал/шум при идеальной и неидеальной временной синхронизации. Полоса сигнала 1.4 МГц. (составлено автором)



**Рис. 9.** Зависимость НСКЗ ошибки оценки ОСШ от текущего отношения сигнал/шум при идеальной и неидеальной временной синхронизации. Полоса сигнала 5 МГц. (составлено автором)



**Рис. 10.** Зависимость НСКЗ ошибки оценки ОСШ от текущего отношения сигнал/шум при идеальной и неидеальной временной синхронизации. Полоса сигнала 20 МГц. (составлено автором)

#### Заключение

В данной статье рассмотрен метод оценки текущего отношения сигнал шум на основе циклического префикса в OFDM системах. Показано, что особенность формирования циклического префикса в OFDM системах в принципе позволяет избежать необходимости использования пилотных последовательностей, применяемых для решения задач такого рода. Результаты имитационного моделирования показали, что предложенный метод позволяет обеспечить высокую точность оценки текущего отношения сигнал/шум (СКО ошибки оценки отношения сигнал/шум не превышает 0.11 дБ) в широком диапазоне значений отношений сигнал/шум (от -5 до 30 дБ включительно). Наличие ошибок символьной рассинхронизации приводит к резкому ухудшению значений НСКЗ ошибки оценки отношения сигнал/шум и наиболее критично для полосы в 1.4 МГц, с увеличением полосы сигнала до 20 МГц влияние ошибок символьной рассинхронизации уменьшается.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1. Athanasios D., Kalivas G. SNR estimation for low bit rate OFDM systems in AWGN channel. Proceedings of the ICN/ICONS/MCL 2006, 2006, p. 198.
- 2. Abeida H. Data-aided SNR estimation in time-variant rayleigh fading channels. IEEE Transactions on Signal Processing, 58(11), 2010. p 5496–5507.
- 3. Xu H., Wei G., Zhu J. A novel SNR estimation algorithm for OFDM. Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference 2005, vol. 5, 2005. p. 3068–3071.
- 4. Socheleau F. X., Aissa-El-Bey A., Houcke S. Non Data-Aided SNR Estimation of OFDM signals. IEEE Communications Letters, vol. 12, no. 11, 2008. pp. 813-815.
- 5. Chen F., Kang Y., Yu H., Ji F. Non-data-aided ML SNR estimation for AWGN channels with deterministic interference. <u>EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 2014</u>: 45, 2014.
- 6. Cui T., Tellambura C. Power delay profile and noise variance estimation for OFDM. IEEE Communication Letters., vol. 10, no. 1, 2006. p. 25-27.
- 7. Sesia S., Toufik I., Baker M., LTE The UMTS Long Term Evolution From Theory to Practice, 2nd Edition, John Wiley & Sons Ltd, 2011. 752 p.
- 8. Remy J.-G., Letamendia C. LTE Standards, ISTE Ltd and John Wiley & Sons, 2014. 258 p.
- 9. Гельгор А.Л., Попов Е.А. Технология LTE мобильной передачи данных: учеб. пособ. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 204 с.
- 10. Казачков В. О. Исследование влияния ошибок символьной синхронизации на точность методов определения текущего отношения сигнал/шум по циклическому префиксу в OFDM системах. // Московская молодежная научнопрактическая конференция «Инновации в авиации и космонавтике 2014. Сборник тезисов докладов ».М.: МАИ с. 157-158.

**Рецензент:** Важенин Николай Афанасьевич, доцент, к.т.н., ФГОБУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Россия, Москва.

## **Kazachkov Vitaly Olegovich**

Moscow Aviation Institute (National Research University)
Russia, Moscow
E-mail: Elektronik89@rambler.ru

# Study of signal-to-noise ratio evaluation method of the Long Term Evolution signal in terms of ideal and non-ideal symbol synchronization

**Abstract.** The exact definition current signal-to-noise ratio is the criterion that affects on the correct solution to a wide range of tasks. For example, at implementing an Adaptive Modulation and Coding, at selecting a desired antenna in autoselection method of diversity reception—and other adaptive systems, in evaluating system performance, etc. The article deals with blind method for determining the current signal-to-noise ratio, showing a high estimation accuracy even at low values of signal-to-noise ratio. In systems with orthogonal frequency division multiplexing cyclic, prefix is used to resist intersymbol interference. This article describes a method based on cyclic prefix to determine the current signal-to-noise ratio. Method is based on the calculation of correlation functions for cyclic prefix and postfix. Paper presents a mathematical description of the method and description of the simulation model. The simulation results showed that at range of the signal-to-noise ratio from -5 to 30 dB, systematic error is not more than 0.004 dB and the standard deviation estimation of signal-to-noise ratio is not more than 0.11 dB. Article also shows the accuracy of method at imperfect symbol synchronization.

**Keywords:** digital communication; blind estimation; signal to noise ratio; orthogonal frequency division multiplexing; cyclic prefix; correlation function; simulation; channel with additive white Gaussian noise; imperfect synchronization; normalized mean square error.

## REFERENCES

- 1. Athanasios D., Kalivas G. SNR estimation for low bit rate OFDM systems in AWGN channel. Proceedings of the ICN/ICONS/MCL 2006, 2006, p. 198.
- 2. Abeida H. Data-aided SNR estimation in time-variant rayleigh fading channels. IEEE Transactions on Signal Processing, 58(11), 2010. p 5496–5507.
- 3. Xu H., Wei G., Zhu J. A novel SNR estimation algorithm for OFDM. Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference 2005, vol. 5, 2005. p. 3068–3071.
- 4. Socheleau F. X., Aissa-El-Bey A., Houcke S. Non Data-Aided SNR Estimation of OFDM signals. IEEE Communications Letters, vol. 12, no. 11, 2008. pp. 813-815.
- 5. Chen F., Kang Y., Yu H., Ji F. Non-data-aided ML SNR estimation for AWGN channels with deterministic interference. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 2014: 45, 2014.
- 6. Cui T., Tellambura C. Power delay profile and noise variance estimation for OFDM. IEEE Communication Letters., vol. 10, no. 1, 2006. p. 25-27.
- 7. Sesia S., Toufik I., Baker M., LTE The UMTS Long Term Evolution From Theory to Practice, 2nd Edition, John Wiley & Sons Ltd, 2011. 752 p.
- 8. Remy J.-G., Letamendia C. LTE Standards, ISTE Ltd and John Wiley & Sons, 2014. 258 p.
- 9. Gel'gor A.L., Popov E.A. Tekhnologiya LTE mobil'noy peredachi dannykh: ucheb. posob . SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2011. 204 s.
- 10. Kazachkov V. O. Issledovanie vliyaniya oshibok simvol'noy sinkhronizatsii na tochnost' metodov opredeleniya tekushchego otnosheniya signal/shum po tsiklicheskomu prefiksu v OFDM sistemakh. // Moskovskaya molodezhnaya nauchnoprakticheskaya konferentsiya «Innovatsii v aviatsii i kosmonavtike 2014. Sbornik tezisov dokladov ».M.: MAI c. 157-158.