

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МЕХАНИЗМА АДАПТАЦИИ НА ОСНОВЕ МЕТРИКИ *PSNR* БЕСПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ *WiMAX* В МНОГОЛУЧЕВЫХ РАДИОКАНАЛАХ

Введение

Современные системы радиосвязи *OFDM* (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) предназначены для работы в частотно-селективных каналах с многолучевым распространением сигналов. При этом стандартные алгоритмы обработки сигналов предусматривают лишь равномерное распределение мощности и одинаковую схему модуляции и кодирования (МКС) на всех информационных поднесущих частотах [1, 2].

Известные алгоритмы адаптации к каналу для систем связи с ортогональными поднесущими можно условно разделить на две основные группы: первые максимизируют скорость передачи информации при заданной вероятности битовой (пакетной) ошибки на приемнике; вторые – минимизируют вероятность ошибок при фиксированной скорости передачи информации. Для некоторых ведомственных систем связи, ориентированных на передачу мультимедийной информации с заданными показателями *QoS* (*Quality of Service*), актуальным является разработка усовершенствованных методов и критериев адаптации.

В работе [1] был предложен метод адаптации к каналу связи системы *WiMAX*, основанный на определении и контроле качества передаваемой информации на основе критерия оценки *PSNR* (*Peak Signal to Noise Ratio*). Данные компьютерного моделирования показали эффективность предложенного метода при передаче мультимедийной информации, а также выявил ряд преимуществ по сравнению с таким традиционно используемым критерием качества, как *BER* (*Bit Error Rate*).

Ранее [1] была рассмотрена работа предложенного метода в канале с Гауссовским белым шумом (*AWGN*). Данная статья продолжает изучать проблематику, поднятую в [1] и описывает работу предложенного метода в многолучевых радиоканалах.

Цель работы - рассмотрение эффективности поддержания качества передачи мультимедийной информации с использованием критерия *PSNR* в многолучевых каналах распространения радиосигнала.

Основная часть

Современные системы связи, такие как *WiMAX* (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) и *Wi-Fi* (*Wireless Fidelity*), для достижения высокого уровня качества переданной информации используют системы оценки канала передачи данных, которые не принимают во внимание характер передаваемой информации.

Как было показано в [1] это может приводить к тому, что в зависимости от типа переданных данных (аудио, видео, текст, цифровая таблица, комбинированный тип и т.п.), при одинаковых условиях распространения в канале передачи, качество принятой информации может различаться в широких пределах. Одним из выходов из данного положения может быть работа системы передачи данных при таком уровне *BER*, на котором заведомо любая информация будет передана с высоким качеством. Такой подход определен развитием *WiMAX* где допустимый уровень *BER* равен 10^{-6} [2] по сравнению с 10^{-3} для *preWiMAX* систем [3]. Недостатком такого подхода является ситуация, обратная описанной выше – для некоторых типов данных, в частности текстовых, новый уровень *BER* будет явно завышен. Это приводит к тому, что для поддержания требуемого *BER*, данные передаются на меньшей скорости, чем оптимальная (работа с *QAM* модуляцией поднесущих с меньшим индексом).

Критерий *PSNR* зачастую используется для оценки качества изображений, сжатых кодеком с потерей. Сравнение производится между сжатым изображением и исходным. Нами

предложено использовать *PSNR* при оценке качества передачи данных. Передающая сторона (на примере *WiMAX*) вместе с полезной информацией также передает и служебную информацию, используя для этого специально выделенные частоты. В предложенном методе в поток служебных данных вводятся небольшие по размеру тестовые последовательности, того же типа (или даже расширения), что и передаваемые полезные данные пользователя. Приемная сторона, имея копию тестовой последовательности, может подсчитать уровень искажений при передаче. Так как полезная и тестовая последовательности передаются одновременно, то и уровень искажений будет у них общим. Таким образом, выясняется уровень качества переданной информации.

Расчет качества переданной информации с помощью метрики *PSNR* представляет ряд преимуществ по сравнению с используемым расчётом качества на основе *BER*:

- возможность выработки отдельных критериев оценки качества для различных видов информации (видео, аудио, текстовая последовательность);
- сравнительная простота внедрения и обработки (подсчета);
- данный метод учитывает тип передаваемых данных, в отличие от *BER* [1].

К недостаткам можно отнести:

- наличие копий тестовых последовательностей на приемной и передающей стороне – следовательно, наличие блоков памяти для хранения последовательностей;
- использование части служебного канала связи для передачи тестовых последовательностей;
- стандартизация метода – аппаратура различных производителей должна содержать одинаковые наборы тестовых последовательностей.

Последний недостаток вносит наибольшее влияние – трудно представить, что различные производители аппаратуры связи одновременно введут системы приема-передачи, имеющие единый набор тестовых последовательностей. Кроме того, даже ввод таких систем не позволит им оценивать качество передачи при помощи *PSNR*, работая с ранее введенными в эксплуатацию системами.

Данное ограничение приводит к выводу, что на данный момент, предложенный метод возможно реализовать лишь в отдельно взятых замкнутых системах связи. Под эту категорию попадают ведомственные системы и системы с ограниченным доступом.

Рассмотрим еще одну особенность современных ширококвещательных систем связи. При падении соотношения сигнал/шум до определенного уровня, считается что поддерживать высокое качество передачи больше невозможно и связь разрывается. Это уровень в 10 дБ для *Wi-Fi* [4] и $3,6$ дБ для *WiMAX* [5] соответственно. Но существует целый ряд приложений, где получение даже сильно искаженных данных является более приемлемым, чем полное отсутствие таковых. К таким приложениям можно отнести телемедицину, ведомственные системы связи МВД, данные военной разведки и связи. В таких системах недопустимы обрывы связи и существенные задержки при приеме информации. Следовательно, ширококвещательные протоколы работы при передаче мультимедийной информации для этих систем не подходят. Исходя из вышеизложенных рассуждений, можно сделать вывод о возможности применения предложенного метода для таких типов специальной связи.

В [1] рассматривалась работа системы в канале с аддитивным белым Гауссовским шумом (*AWGN*). В данной работе рассматривается возможность применения метрики *PSNR* для оценки качества передаваемой информации в многолучевых каналах распространения радиосигнала с замираниями (*fading channels*): в канале Релея и канале Райса.

Канал Релея (*Rayleigh fading channel*) – многолучевой канал с замираниями, статистически изменяемый во времени, функция плотности вероятности которой рассчитывается как [6]:

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} * \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & (0 \leq r \leq \infty) \\ 0 & (r < 0) \end{cases} \quad (1)$$

где r – принимаемый случайный сигнал, σ – среднеквадратичное значение напряжения принятого сигнала до детектирования огибающей, σ^2 – усредненная по времени мощность принятого сигнала до детектирования огибающей.

Функция распределения вероятности такого канала имеет вид [6]:

$$P(R) = \int_0^R p(r) dr = 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

где R – искомая случайная величина.

Данный канал рассматривают в случае, если прием осуществляется только по отраженным сигналам. Согласно [7], экспериментальная работа, проводимая в Нью-Йорке, показала, что распространение сигнала в условиях плотной городской застройки очень близко к каналом Релея (*NLOS*).

Если в многолучевом канале связи кроме отраженных сигналов присутствует еще доминирующий сигнал, передаваемый в зоне прямой видимости (*LOS*). В такой ситуации, отраженные лучи накладываются на прямой. Если сигнал прямой видимости намного сильнее отраженных, то такой канал называется каналом Райса. Функция плотности вероятности в модели канала Райса рассчитывается как [6]:

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} * \exp\left(-\frac{(r^2 + A^2)}{2\sigma^2}\right) * I_0\left(\frac{Ar}{\sigma^2}\right) & (A \geq 0, r \geq 0) \\ 0 & (r < 0) \end{cases} \quad (3)$$

где A – максимальная амплитуда доминирующего сигнала (сигнал прямой видимости), I_0 – это модифицированная функция Бесселя первого рода и нулевого порядка.

Распределение Райса зачастую описывают через параметр K (K -фактор), который определяется как соотношение между мощностью доминирующего сигнала и дисперсией мощности отраженных сигналов:

$$K = 10 \log\left(\frac{A^2}{2\sigma^2}\right), \quad \text{дБ} \quad (4)$$

Данный параметр обозначается как K -фактор. Если $A \rightarrow 0$, то $K \rightarrow -\infty$, это означает, что при ослаблении луча прямой видимости такой канал приближается к каналу Релея. Следовательно, при уменьшении доминантной компоненты распределение Райса стремится к распределению Релея. Согласно [8], [9] – с помощью модели канала Райса можно описать сельскую местность или территорию, окруженную невысокими пологими холмами.

Математическая модель построена в программном пакете *MATLAB*, в ее основе модель, описанная в работе [1]: в блок канала связи были добавлены блоки каналов с затуханием и блок фильтрации, призванный исправлять влияния отраженных лучей.

В модели канал связи имитировал наличие/отсутствие зоны прямой видимости и 3-х отраженных сигналов (лучей). Модель была верифицирована по результату определения зависимости *BER* от отношения сигнал/шум для различных видов модуляции *M-QAM*.

При сравнении оказалось, что полученные графики совпадают с результатами других авторов как качественно, так и количественно [10, 11, 12].

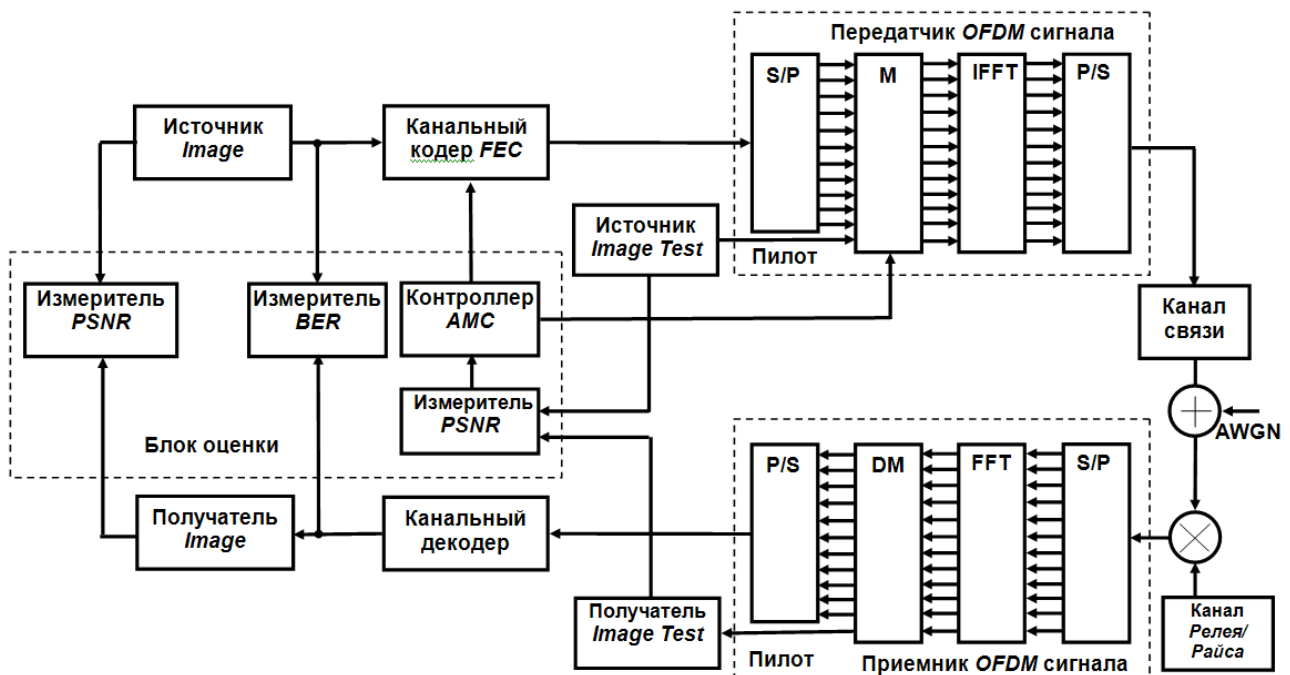


Рис. 1. Усовершенствованная структурная схема математической модели системы беспроводной связи WiMAX

Рассмотрим результаты моделирования в программном пакете *MATLAB* системы связи WiMAX для канала Релея (рис. 2 и 3).

На рис. 2 и 3 показаны графики зависимости *BER* и *PSNR* от отношения сигнал/шум *SNR* для разных видов многоуровневой модуляции поднесущих частот (*BPSK*, *QPSK*, *16-QAM* и *64-QAM*) и схемы кодирования (без кодирования, кодирование $2/3$, $3/4$ и $5/6$). На рис. 3 пунктирной прямой выделен уровень $PSNR=37$ дб, соответствующий высокому качеству передачи видеоинформации.

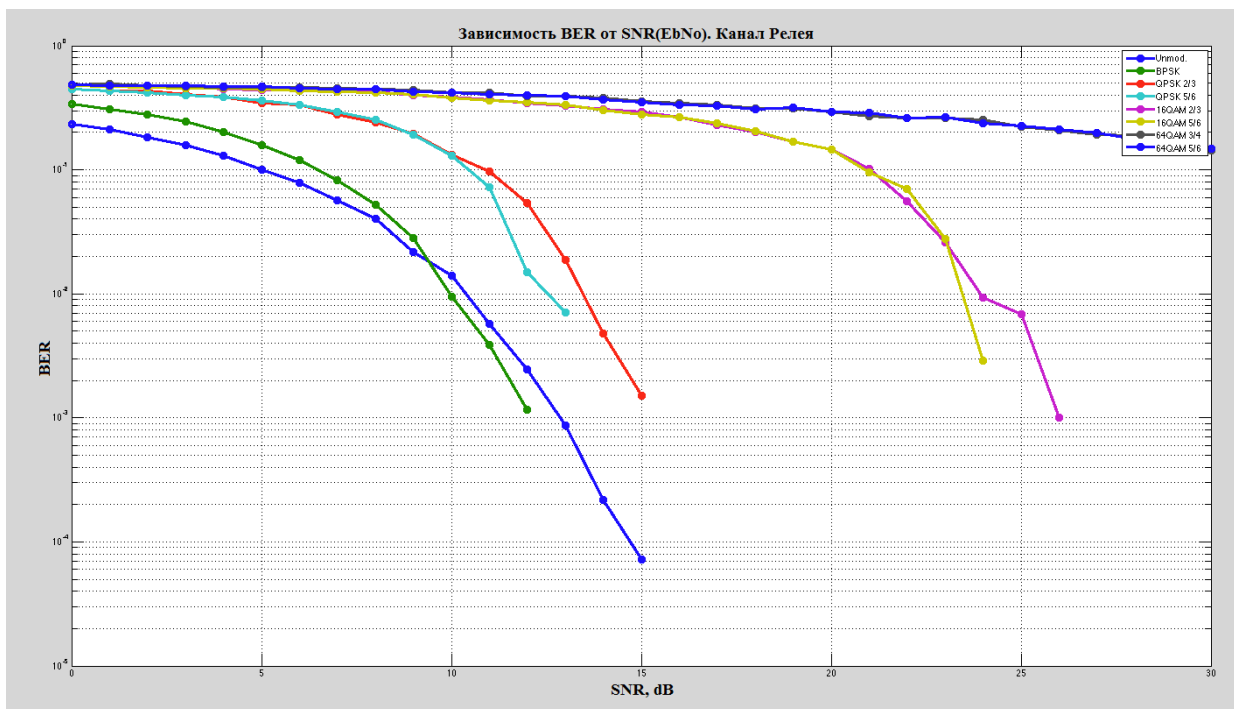


Рис. 2. Зависимость *BER* от соотношения сигнал/шум *SNR* в канале Релея при использовании различных типов модуляции *M-QAM*

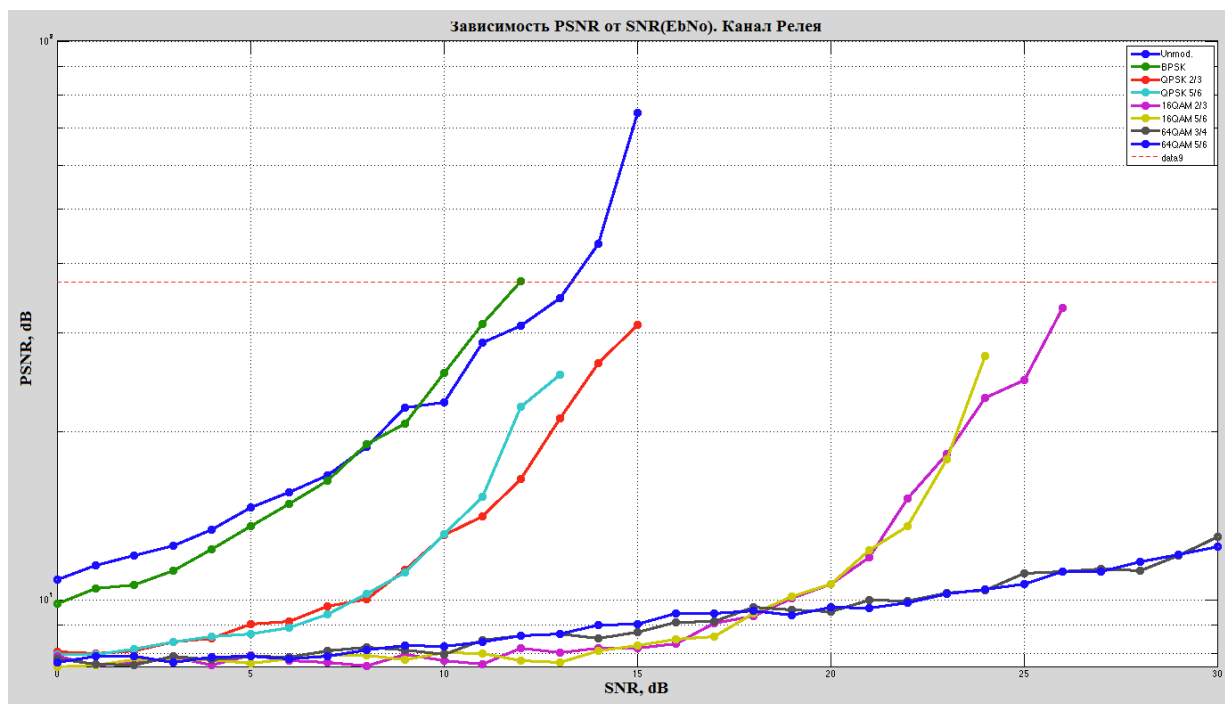


Рис. 3. Зависимость $PSNR$ от соотношения сигнал/шум SNR в канале Релея при использовании различных типов модуляции M - QAM

На рис. 4 и 5 показаны результаты моделирования для канала Райса со значением параметра $K = 1000$.

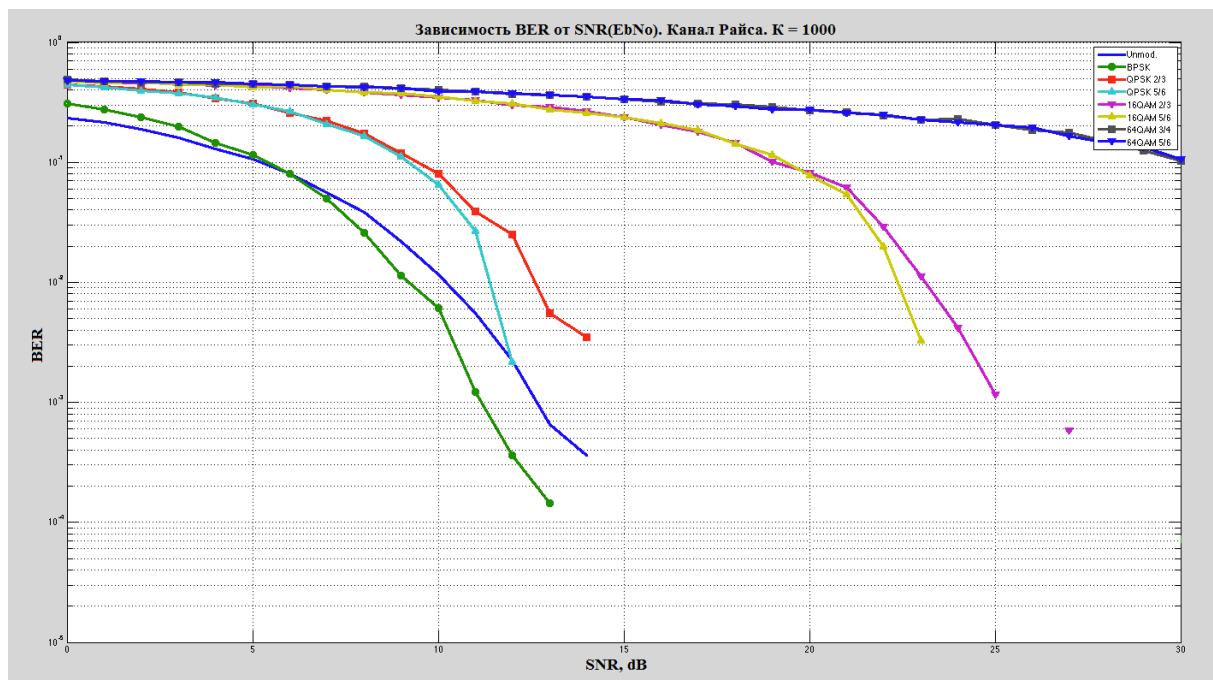


Рис. 4. Зависимость $PSNR$ от соотношения сигнал/шум SNR в канале Райса при использовании различных типов модуляции M - QAM . Параметр $K = 1000$

При сравнении полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Работа системы связи с использованием модуляции QAM -64 не дает хорошего приема. Использование модуляции QAM -16 возможно начиная с уровня соотношения сигнал/шум в 22 – 25 дБ. Следовательно, для успешного приема сигнала даже в сельской местности сле-

дует существенно ограничить скорость работы системы связи, примерно на 20% от максимальной (см. таблицу).

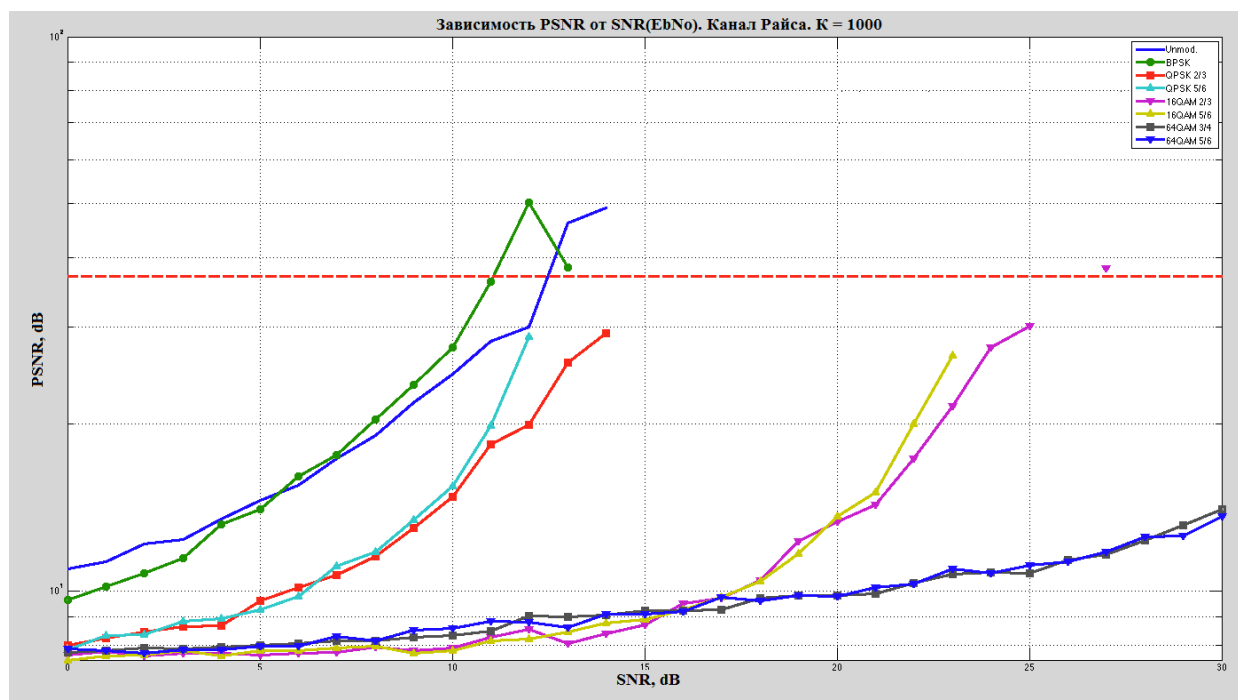


Рис. 5. Зависимость BER от соотношения сигнал/шум SNR в канале Райса при использовании различных типов модуляции M-QAM. Параметр K = 1000

2. При сравнении результатов моделирования каналов Релея и Райса заметны некоторое улучшение приема сигнала в канале Райса по сравнению с каналом Релея – сказывается наличие зоны прямой видимости между приемником и передатчиком.

3. Как и было указано в [3], при SNR в 4 дБ качество переданной информации при наиболее помехоустойчивом типе модуляции крайне низкое, что означает дальнейшую нецелесообразность поддерживать связь при использовании широковещательных протоколов связи.

Соответствие скорости передачи данных типу модуляции и кодирования

Тип модуляции и кодирования	Скорость передачи, МБит/с
QPSK 1/2	2.016
QPSK 3/4	3.024
QAM-16 1/2	4.032
QAM-16 3/4	6.048
QAM-64 2/3	8.064
QAM-64 3/4	9.072

Рассмотрим работу системы в режиме адаптации – работа начинается при соотношении сигнал/шум в 30 дБ, далее состояния канала начинает ухудшаться. В момент, когда качество передаваемой информации падает ниже заданного уровня, система переходит к работе с такой схемой помехоустойчивого кодирования и модуляции, которая позволит удерживать качество передачи данных на требуемом уровне. Для характеристики BER эта величина определена как 10^{-3} [3] – требование к качеству preWiMAX систем, например домашний проводной интернет, Wi-Fi; для PSNR как 37 дБ [13].

Рассмотрим более детально работу системы связи с каналом Релея при использовании различных критериев адаптации к каналу (рис. 6 и 7).

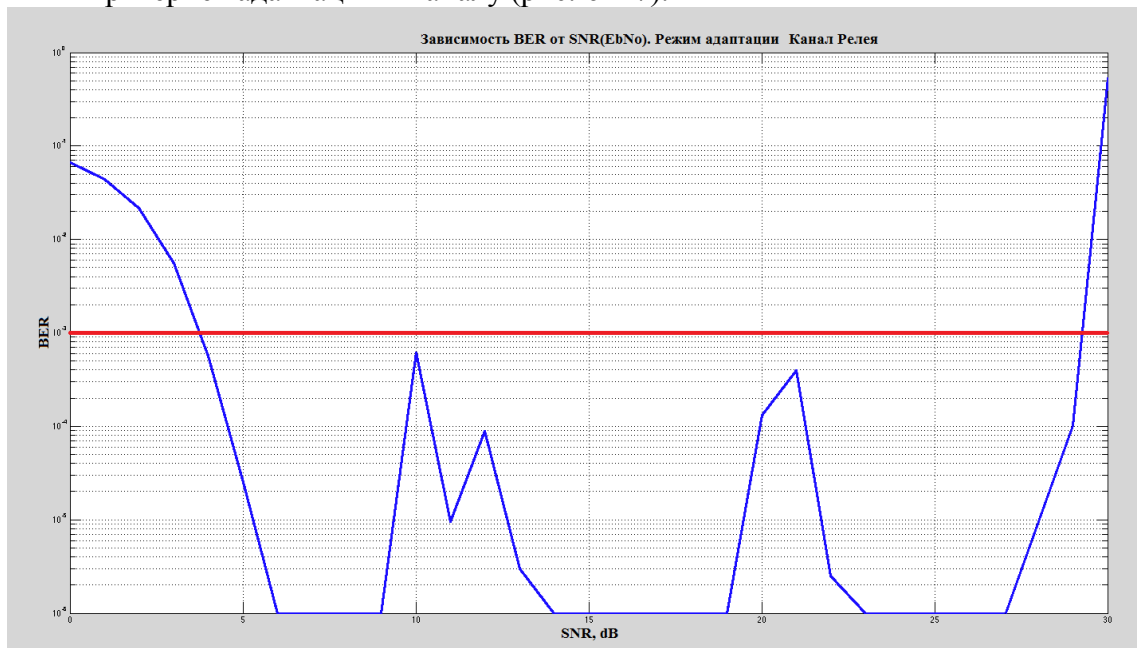


Рис. 6. Зависимость BER от отношения сигнал/шум SNR в канале связи Релея при работе механизма адаптации

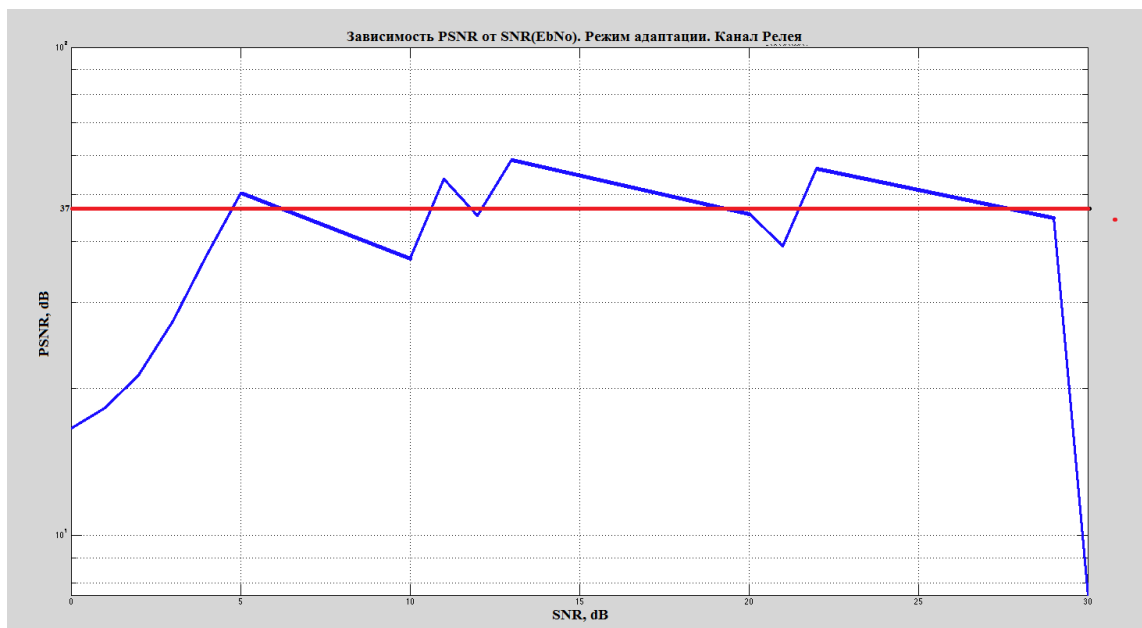


Рис. 7. Зависимость $PSNR$ от отношения сигнал/шум SNR в канале связи Релея при работе механизма адаптации

На рис. 6 видно, что даже при хорошем уровне соотношения сигнал/шум работа схемы с использованием модуляции $QAM-64$ является затруднительной, о чем уже было сказано ранее. Далее видно, что модель не превышает допустимого уровня качества передачи данных вплоть до момента, когда соотношение сигнал/шум не позволяет уверенно принимать сигнал. Это уровень $SNR 4 \text{ dB}$, что сходится с данными в работе [12]. На рис. 7 видно, что при $SNR = 21 \text{ dB}$, 12 dB и 10 dB уровень $PSNR$ падает ниже требуемого. Сравнивая с рис. 6 становится ясно, что это происходит в моменты, когда уровень BER был близок к допустимому пределу.

При рассмотрении аналогичного режима работы системы с каналом Райса (рис. 8 и 9) видна схожая ситуация, единственным исключением является тот факт, что при соотношении сигнал/шум 10 дБ уровень BER был гораздо дальше от допустимого, чем в канале Релея.

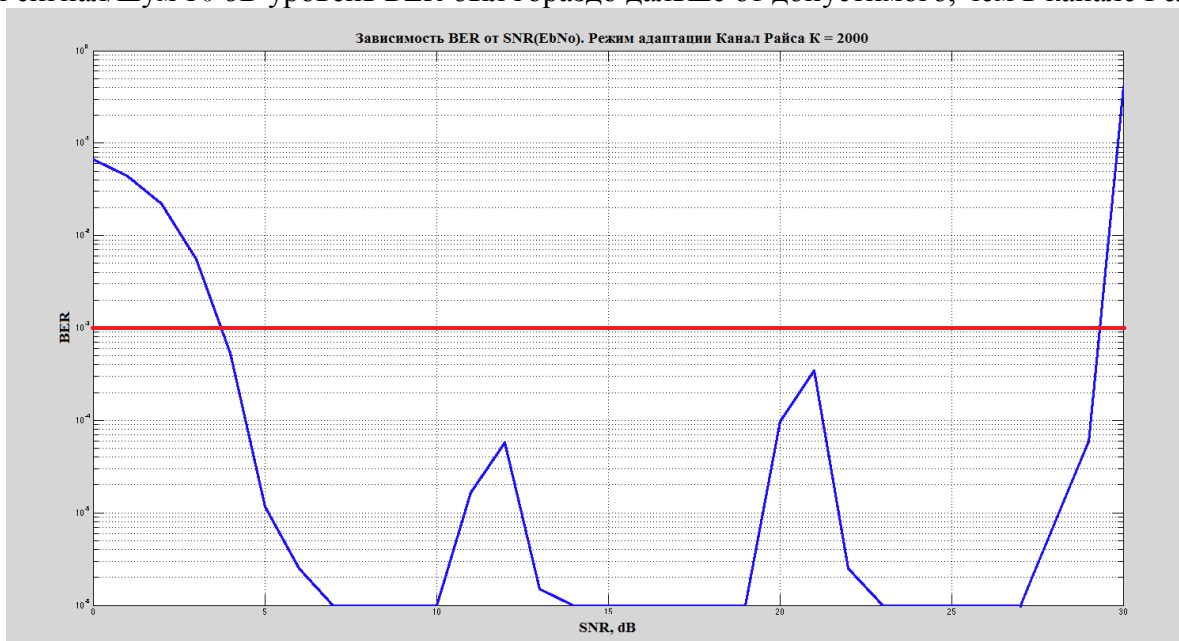


Рис. 8. Зависимость BER от отношения сигнал/шум SNR в канале Райса при работе механизма адаптации. K -фактор = 2000

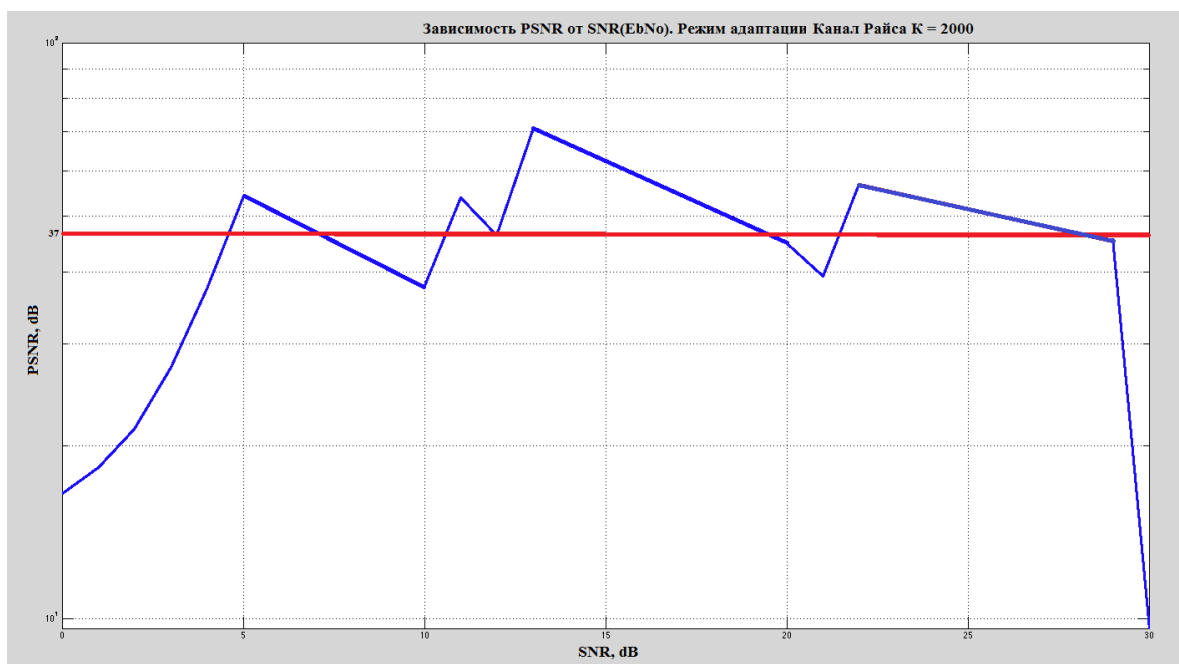


Рис. 9. Зависимость метрики $PSNR$ от отношения сигнал/шум SNR в канале Райса при работе механизма адаптации. K -фактор = 2000

Заключение

В работе показано состоятельность использования предложенного метода адаптации сигнала на основе метрики $PSNR$ в многолучевых каналах распространения радиосигнала.

Показано, что в ряде случаев использование фиксированного уровня BER в качестве параметра оценки качества передаваемой информации может приводить к тому, что на самом

деле данные будут переданы с неудовлетворительным качеством. Исходя из того, что в [1] была показана противоположная ситуация – имея хорошее качество в *PSNR*; основываясь на *BER*, принималось решение о смене схемы модуляции и кодирования на более медленную и помехоустойчивую. Все это указывает на то, что использования *BER* в качестве параметра оценки качества переданной мультимедийной информации недостаточно.

Дальнейшее исследование должно быть направлено на изучение и выявление ситуаций, когда *BER* дает неправильную оценку по сравнению с *PSNR*.

Список литературы: 1. *Ивженко А.В., Маслий В.В., Цона А.И.* Исследование механизмов адаптации в беспроводных *WiMAX* каналах связи при передаче мультимедийной информации // Радиотехника. – 2012. – Вып. № 169. – С. 152-161. 2. *IEEE 802.16-2009.* IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands. 3. *Bahar Jalali Farahani, Mohammed Ismail.* *WiMAX/WLAN* Radio Receiver Architecture for Convergence in WMANS // 48th Midwest Symposium. Circuits and Systems. – 2005. – p. 1621-1622. 4. <http://www.enterprisenetworkingplanet.com/netsp/article.php/3747656/WiFi-Define-Minimum-SNR-Values-for-Signal-Coverage.htm>. 5. *João Pedro Eira, António J. Rodrigues.* Analysis of *WiMAX* data rate performance // Autoridade nacional de comunicacões. – Portugal. – 2007. 6. *Rappaport Theodore S.* *Wireless Communications Principles and Practice.* Second edition. // Prentice Hall PTR. 7. *Dmitry Chizhik, Jonathan Ling.* Multiple-Input – Multiple-Output Measurements and Modeling in Manhattan // IEEE Journal on selected areas in communications. – vol. 21. – April 2003. 8. *Eric Haas.* Design, Evaluation and Implementation of a Multi-Carrier Transmission System for Aeronautical Communications // Doctor Dissertation. – 2002. 9. *Yogender Singh Gill, Dr. Rajesh Khanna.* Analysis of data transmission techniques in Rayleigh, Rician and Nakagami fading model under various modulation schemes // International Journal of VLSI and Signal Processing Applications. – Vol. 1, Issue 2, 2011. – p. 108-111. 10. *Anamul Islam* BER Performance Analysis of a Real Data Communication through *WiMAX*-PHY Layer over an AWGN and Fading Channels. // International Journal of Electrical & Computer Sciences IJECS-IJENS. – Vol: 10. – No: 04. 11. *P. Samundiswary, Ravi Ranjan Prasad.* Performance Analysis of MIMO-Mobile *WiMAX* System using Space Time Block Codes under Different Channels // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). – Volume-2, Issue-2, – 2013. 12. *Jamal Mountassir, Horia Balta.* Simulating the *WiMAX* Physical Layer in Rayleigh Fading Channel // Journal of Wireless Networking and Communications. 2011. 13. *J. Gross, J. Klaue, H. Karl, and A. Wolisz.* Cross-layer optimization of *OFDM* transmission systems for MPEG-4 video streaming. *Computer Communications*, vol. 27. – 2004.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 13.02.2013