

ПРЕДЕЛЬНЫЕ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ ПРЯМОХАОТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛУЧЕВОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ

Кузьмин Л. В.

Институт радиотехники и электроники им В. А. Котельникова РАН

г. Москва, 125009, Россия

тел.: +7 (495) 6297278, e-mail: lvk@cplire.ru

Аннотация — Определены предельные скорости передачи в условиях многолучевого распространения в прямохаотической схеме связи, в которой используются сверхширокополосные хаотические радиоимпульсы. При определении предельных скоростей использовалась модель канал, разработанная рабочей группой IEEE 802.15.4a для локальных беспроводных сверхширокополосных сетей. Установлена роль «тяжёлых» хвостов в распределениях задержек в приходе лучей, свойственных таким каналам, как фактора, лимитирующего достижимую скорость связи при использовании некогерентного приёма в ансамбле каналов.

I. Введение

Применение хаотических сигналов в широкополосных и сверхширокополосных (СШП) системах связи связано с прямохаотической схемой связи (ПХСС), предложенной и экспериментально апробированной в 2000 г. в ИРЭ им В.А. Котельникова РАН [1], в которой хаотический сигнал модулируется и генерируется непосредственно в микроволновом диапазоне частот [1–4].

Характеристики ПХСС исследовались в канале с белым шумом, для которого определялись вероятности ошибок на бит в зависимости от отношения сигнал/шум. Целью данной работы является анализ достижимых скоростей передачи в беспроводных СШП системах связи персонального применения, модели каналов которых описываются моделью стандарта IEEE 802.15.4a [5].

II. Модель канала

Рассматриваемая в данной работе модель канала имеет вид

$$y(t) = h(t) \otimes s(t),$$

где $s(t)$ – сигнал (последовательность хаотических радиоимпульсов, кодирующих единичные и нулевые символы), излучаемая передатчиком; $y(t)$ – сигнал, поступающий в приёмник из канала; $h(t)$ – импульсная характеристика отклика многолучевого канала; \otimes – операция свёртки. Влияние белого шума не учитывается в предположении, что его мощность мала по сравнению с мощностью реверберационной помехи (межимпульсной интерференции).

Приём хаотических радиоимпульсов осуществляется с помощью детектора огибающей, на выходе которого формируется сигнал – огибающая импульсов $i(t)$

$$i(t) = \int_{t-\tau_p}^t (h(p) \otimes s(p))^2 dp, \quad (1)$$

где τ_p – длина хаотического радиоимпульса.

В работе используется статистическая модель канала для помещений различных типов в диапазоне от 3 до 10 ГГц (беспроводные персональные сети

или сенсорные сети) [5]. Модель выражается в виде набора импульсных характеристик $h^{(i)}(t)$:

$$h^{(i)}(t) = X^{(i)} \sum_{l=0}^L \sum_{k=0}^K \alpha_{k,l}^{(i)} \delta(t - T_l^{(i)} - \tau_{k,l}^{(i)}) \quad (2)$$

где функция отклика $h^{(i)}(t)$ на δ -импульс в i -том канале, соответствующем некоторому взаимному расположению передатчика и приёмника.

Зависимость вероятности ошибок на бит от скорости передачи символов через эфир определялась для каждой реализации канала модели (2). Данный метод позволяет оценить долю каналов $\Theta(R, P_n)$, обеспечивающих заданный уровень вероятности ошибки на бит P_n в зависимости от скорости передачи R при фиксированной длительности хаотического радиоимпульса τ_p :

$$\Theta(R, P_n) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \theta(p_B(R, h^{(k)}) < P_n) \quad (3)$$

где $p_B(R, h^{(k)})$ частота ошибок k -го канала для скорости R ; N – число реализаций каналов заданного типа; P_n – пороговое значение ошибки; $\theta = 1$, если неравенство верно, иначе $\theta = 0$. Фактически исследуется влияние различных каналов на формирование ошибки для длительности τ_G защитного интервала. Скорость передачи определяется как $R = 1/(\tau_p + \tau_G)$. Теоретически оценить с приемлемой точностью влияние такой нестационарной помехи на вероятность ошибки невозможно из-за случайного характера функции-отклика канала, поэтому для определения вероятности ошибки использовалось численное моделирование излучения и приёма сигнала для каждой реализации импульсной характеристики канала.

Усреднённая по ансамблю каналов частота ошибок $p_B(R, h^{(k)})$ даёт оценку средней вероятности ошибки:

$$\bar{p}_B(R) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N p_B(R, h^{(k)}) \quad (4)$$

III. Результаты моделирования

Результаты моделирования представлены на рис. 1, где показан зависимость вероятности ошибки P_B от скорости передачи данных R (рис. 1а) и доля каналов $\Theta(R, P_n)$, гарантирующих передачу со скоростью R с ошибкой не более $P_n = 10^{-4}$ (рис. 1б). Полоса сигнала составляла $\Delta f = 2000$ МГц, длительность импульса $\tau_p = 20$ нс. Рассматривались модели каналов: СМ1 (жилое помещение), СМ5 (вне помещений), СМ9 (сельскохозяйственные фермы) с прямым лучом и СМ8 (промышленная обстановка) без прямого луча.

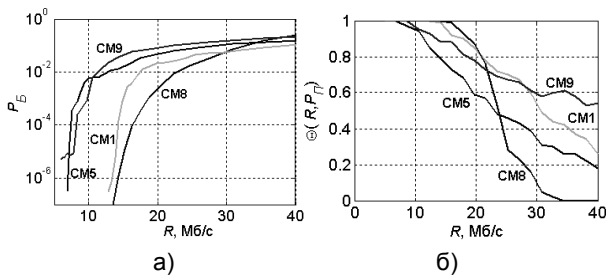


Рис. 1. Вероятность ошибки на бит P_B (а) и доля каналов $\Theta(R, P_n)$ (б), в которых возможна передача данных с вероятностью ошибки не выше $P_n = 10^{-4}$.

Fig. 1. Bit-error-probability P_B and fraction of channels $\Theta(R, P_n)$, where P_B does not exceed $P_n = 10^{-4}$.

Сравнение распределения каналов, гарантирующих заданную вероятность ошибки, с усреднёнными в пределах одного класса частотами ошибок, показывает неизвестную ранее особенность анализируемых распределений: зависимость средних значений $\bar{P}_B(R)$ для канала данного класса формируется откликами канала, имеющими величину вероятности ошибки значительно большую, чем величина для основного множества откликов канала (~80...90 %) (распределения с тяжёлыми хвостами). В результате доля каналов, для которых частота ошибок оказывается меньше средней по ансамблю достигает ~90...95 %. Это же обстоятельство позволяет использовать усреднённые по ансамблю каналы зависимости $\bar{P}_B(R)$ для характеристики 90...95 % каналов данного типа.

Таким образом, показано, что распределение случайных величин $p_B(R, h_k)$ принадлежит к распределению с тяжёлыми хвостами. В этих условиях оценка средних значений может возрастать с увеличением числа исследованных импульсных характеристик, так что принятая в данной работе оценка доли каналов $\Theta(R, P_n)$ с заданным качеством становится необходимой уже из-за ограниченности объёма выборки исследованных импульсных характеристик каналов данного класса.

IV. Заключение

Методом численного моделирования энергетического приёма СШП хаотических сигналов в условиях многолучевого распространения внутри помещений получены оценки максимально достижимой скорости передачи данных при заданной вероятности ошибки.

Получены оценки доли каналов, обеспечивающие возможность передачи данных со скоростями от 10 до 20 Мб/с с вероятностью ошибки не более $P_B \sim 10^{-4}$ в каналах с сильным многолучевым распространением. Впервые выявлена роль малой (менее 5...20 %) доли каналов из данного ансамбля, имеющей высокие вероятности ошибки P_B и существенно влияющей на зависимость средней для данного класса каналов вероятности ошибки $\bar{P}_B(R)$ от скорости передачи.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 09-02-00983-а и № 09-07-92651-ИНД_а.

V. Список литературы

- [1] Дмитриев А. С. и др. Перспективы создания прямохаотических систем связи в радио и СВЧ диапазонах, Радиотехника. 2000. № 3. С. 9-20.
- [2] Дмитриев А. С. и др. Прямохаотические схемы передачи информации в сверхвысокочастотном диапазоне, РиЭ, 2001. Т. 46. № 2. С. 224-233.
- [3] Дмитриев А. С. и др. Сверхширокополосная беспроводная связь и сенсорные сети, РиЭ. 2008, Т. 53, №10, С. 1278-1289.
- [4] Andreyev Yu. V. et al. Qualitative theory of dynamical systems, chaos and contemporary communications. Int. J. Bifurcation and Chaos. 2005. Vol. 15, No. 11, pp. 3639-3651.
- [5] Channel Modeling Sub-committee Report Final. / IEEE P802.15.4a Working Group for Wireless Personal Area Networks (WPANs), Dec. 2004. <http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/04/15-04-0662-02-004a-channel-model-final-report-r1.pdf>

LIMIT BITRATES OF INFORMATION TRANSMISSION FOR THE ULTRAWIDEBAND DIRECT CHAOTIC COMMUNICATION SYSTEM IN MULTIPATH CHANNELS

Kuzmin L. V.

Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics of the RAS
Moscow, 125009, Russia

Ph.: +7 (495) 6297278, e-mail: lvk@cplire.ru

Abstract — Bitrate performance of a wireless communication scheme with ultrawideband chaotic radiopulses in multipath channels is evaluated. The channels based on indoor multipath channel models elaborated by IEEE 802.15.4a working group for ultrawideband wireless communication systems are considered. Error probability vs. bitrates is numerically estimated.

I. Introduction

This work concerns investigation of statistical properties of an ensemble of ultrawideband (UWB) wireless channels of a given class of indoor channel models from the point of view of achievable bitrates for a prescribed value of Bit-Error-Ratio in the direct chaotic communication scheme (DCCS), when the bitrate is limited by the multipath interference. It was done by means of direct numerical simulation of noncoherent reception of chaotic signals that came through multipath channels.

II, III. Main Part

According to the DCCS structure consisting of a transmitter of modulated chaotic radiopulses and a receiver consisting of envelope detector numerical simulations for the bit-error-probability estimation in the ensemble of multipath channels [8] were carried out. The fraction of channels, (3) providing acceptable BER no more than P_n as a function of bitrate R for constant chaotic pulse length τ_p and varied guard interval τ_g , was determined. The dependence of fraction of channels was investigated as a function of guard interval length τ_g . The averaged over ensemble of channels BER is governed by (4)

IV. Conclusion

Estimates of maximum admissible bitrates for given BER was obtained for the direct chaotic communication scheme. These estimates were obtained by means of direct numerical simulation of noncoherent receiver of UWB chaotic signals in the indoor multipath environment. It was shown that achievable bitrates in the presence of dominating multipath interference for the indoor channels is varied from 10 up to 20 Mbps for the BER 10^{-4} .