

## Анализ когерентного и некогерентного приема сверхширокополосных хаотических радиоимпульсов в многолучевом канале

Л.В. Кузьмин<sup>1</sup>, Р.Ю. Емельянов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ИРЭ им В.А. Котельникова РАН  
125009, г. Москва, ул. Моховая, д11, стр.7, lvk@cplire.ru

<sup>2</sup>МФТИ (ГУ)  
141707, г.Долгопрудный, Институтский пер.9, ruslanem@gmail.com

*В сравнении проанализированы статистические характеристики когерентного и некогерентного приема сверхширокополосных хаотических радиоимпульсов в многолучевом канале. В качестве модели канала использована модель многолучевого распространения стандарта IEEE 802.15.4a. Показано, что характеристики когерентного приема в многолучевом канале не лучше некогерентного приема.*

*Statistical properties of the coherent and non-coherent receiver of ultra-wideband chaotic radio pulses in multipath channel are considered and compared. Multipath propagation channel model of IEEE 802.15.4a standard is used. The inadvisability of coherent receiver in multipath channel as compared to non-coherent receiver in strong multipath propagation which is characterized by an ultra-wideband communication channel is shown.*

Когерентные схемы приема сигналов потенциально позволяют достичь максимальной степени помехоустойчивости при приеме сигналов. Вместе с тем, неочевидным является применение данных методов в ситуации сильного многолучевого распространения, которым характеризуется сверхширокополосный (СШП) канал связи, когда в точку приема приходит большое количество переотраженных лучей (несколько десятков), суммарная мощность которых может превышать мощность прямого луча. В силу малого времени когерентности СШП сигнала, прием основного луча на фоне переотраженных существенно затруднен, т.к. реплики СШП сигнала играют роль помехи для основного луча.

Цель данной работы заключается в том, чтобы проанализировать целесообразность использования когерентного приема в случае использования СШП хаотических радиоимпульсов [1–3] и сравнить в канале с многолучевым распространением характеристики когерентного и некогерентного приема.

В рассматриваемой здесь схеме приема информационные символы кодируются хаотическими радиоимпульсами – фрагментами хаотического сигнала длительности  $T_p$ , занимающими определенную временную позицию [1]. Анализ характеристик данной схемы связи в канале с одним лучом на фоне белого шума приведен в [1] для когерентного и некогерентного приема.

Для некогерентных схем приема в многолучевом канале было показано, что некогерентный метод позволяет достигнуть характеристик, аналогичных передаче в канале с одним лучом, при условии согласования длительности хаотического радиоимпульса с длительностью отклика канала [4]. Это связано с некогерентным сложением мощности лучей, попадающих в приемник, и эффективному увеличению мощности принимаемого сигнала [5].

В то же время для когерентного приема неочевидно, что некогерентное сложение большого количества лучей в точке приема приведёт к снижению вероятности ошибки на бит.

В канале с многолучевым распространением на входе приемника формируется сигнал

$$y(t) = h(t) \otimes x(t) + n(t),$$

где  $x(t)$  – сигнал, излучаемый передатчиком (поток хаотических радиоимпульсов),  
 $y(t)$  – сигнал в точке приема после прохождения входных цепей приемника,  
 $n(t)$  – тепловой шум приемника,  
 $h(t)$  – функция-отклик канала, характеризующая многолучевое распространение,  
 $\otimes$  – операция свёртки.

Импульсный отклик  $h(t)$  (рис. 1) канала определяется как отклик на  $\delta$ -импульс:  $h(t) = \sum_{l=0}^L \alpha_l \delta(t - \tau_l)$ , которая формируется как сумма случайных слагаемых-лучей с амплитудой  $\alpha_l$  и запаздыванием  $\tau_l$ , приходящих в точку приема [6]. Модель канала [6] описывает распространение СШП сигнала СВЧ диапазона в помещениях различных типов.

Изображение одной из реализаций отклика канала приведено на рис. 1.

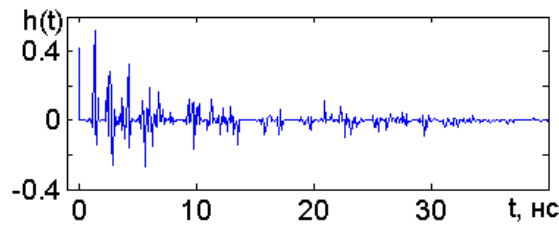


Рис. 1. Функция-отклик канала  $h(t)$ .

В данной работе в качестве модели хаотического сигнала, используются колебания, полученные с помощью модели транзисторного генератора хаотических колебаний СВЧ диапазона [7].

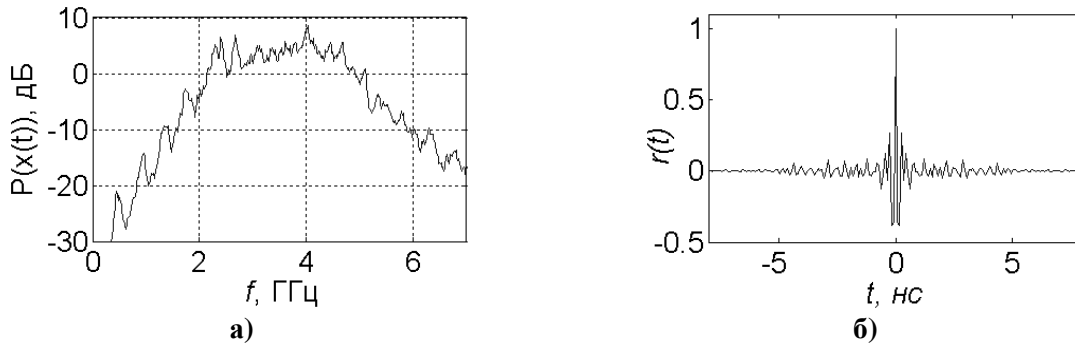
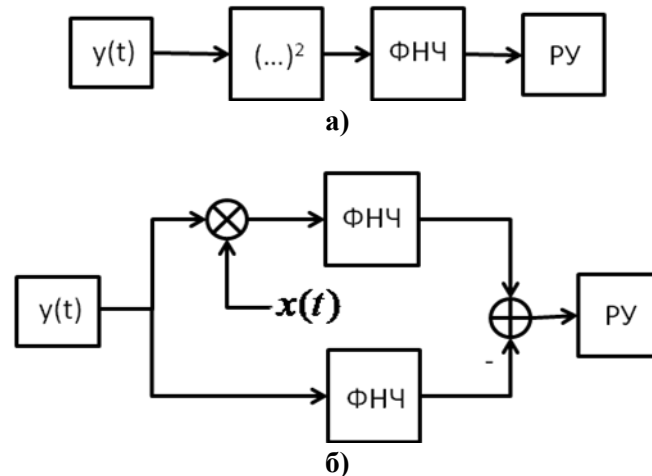


Рис 2. Характеристики хаотического сигнала: а) спектр мощности  $P(x(t))$ ; б) автокорреляционная функция  $r(t)$ .

Спектр мощности хаотических колебаний, приведен на рис. 2б. На рис. 2с изображена автокорреляционная функция хаотического сигнала. Основная часть мощности колебаний генератора сосредоточена в полосе 2,2...5 ГГц. Из автокорреляционной функции следует, что время когерентности составляет  $\sim 0.35$  нс и при суммировании в точке приема переотраженных лучей, приходящих с задержкой, большей времени когерентности, сигналы в приемнике будут складываться некогерентно.

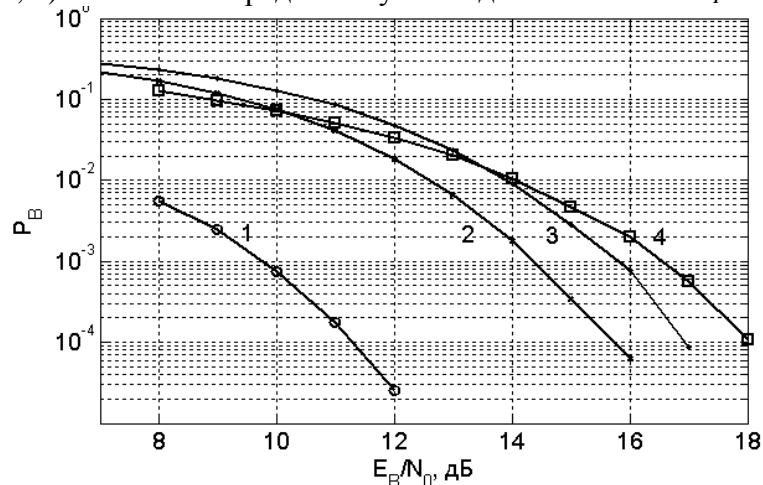
Некогерентная и когерентная и схемы приема хаотических радиоимпульсов, рассматриваемые в статье, приведены на рис. 3



**Рис. 3.** Схема энергетического (а) и когерентного (б) приема хаотических радиоимпульсов:  $(\cdot)^2$  – возведение в квадрат, ФНЧ – фильтр нижних частот, согласованный с длительностью хаотических радиоимпульсов, РУ – решающее устройство,  $x(t)$  – копия хаотического сигнала в приемнике.

Была определена зависимость вероятности ошибки на бит  $P_B$  от отношения энергии на бит к спектральной плотности шума  $E_B/N_0$  для когерентного и некогерентного приема в многолучевом канале.

На рис. 4 изображена полученная вероятность ошибки на бит  $P_B$ , для некогерентного приема в канале с одним лучом (2), в многолучевом канале (3), и для когерентного приема в тех же каналах (1, 4) хаотических радиоимпульсов длительностью  $T_P = 20$  нс.



**Рис. 4.** Вероятность ошибки на бит ( $P_B$ ) в зависимости от отношения энергии на бит к спектральной плотности шума ( $E_B/N_0$ ) для импульсов длительностью 20 нс: 1, 2 – когерентный и энергетический прием, соответственно, в канале с одним лучом; 3, 4 – энергетический и когерентный прием, соответственно, в многолучевом канале.

Из полученных данных следует, что, несмотря на очевидное преимущество когерентной схемы приема в канале с одним лучом (кривая 1) перед энергетическим приемом (кривая 2), в многолучевом канале характеристики когерентной схемы (кривая 4) не лучше энергетического приема (кривая 3), в то время как энергетический прием по-прежнему

имеет практически ту же зависимость вероятности ошибки на бит от отношения энергии на бит к спектральной плотности шума.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы по выполнению прикладных научных исследований по лоту шифр 2014-14-576-0054 по теме: «Создание программно-аппаратных средств инфокоммуникационной инфраструктуры для малых населенных пунктов на основе подхода сверхширокополосных беспроводных программно-конфигурируемых сетей» (Уникальный идентификатор RFMEFI60414X0036).*

### **Литература**

- [1]Дмитриев А.С., Кяргинский Б.Е., Панас А.И., Старков С.О., "Прямохаотические схемы передачи информации в сверхвысококачастотном диапазоне", *Радиотехника и электроника*, 2001, Т. 46, № 2, С. 224-233.
- [2]Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Лазарев В.А. et al, "Сверхширокополосная беспроводная самоорганизующаяся прямохаотическая сенсорная сеть", *Успехи современной радиоэлектроники*. 2013. №3. С.19.
- [3] Андреев Ю.В., Дмитриев А.С., Лазарев В.А. "Экспериментальное исследование распространения сверхширокополосных хаотических сигналов в помещениях", *Успехи современной радиоэлектроники*. 2013. №3. С.55.
- [4]Кузьмин Л.В. «Помехоустойчивость беспроводной схемы связи на сверхширокополосных хаотических радиоимпульсах в многолучевых каналах», *Радиотехника и электроника*, 2011, т. 56, № 4, с. 399–416.
- [5]Андреев Ю.В., Дмитриев А.С., Клецов А.В. "Усиление хаотических радиоимпульсов в многолучевой среде распространения", *Радиотехника и электроника*, 2007, т. 52, №7, с. 838–846.
- [6]Channel Modeling Sub-committee Report Final. November 2002. IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks (WPANs). [http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/2002/Nov02/02490r0P802-15\\_SG3a-Channel-Modeling-Subcommittee-Report-Final.zip](http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/2002/Nov02/02490r0P802-15_SG3a-Channel-Modeling-Subcommittee-Report-Final.zip)
- [7]Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Кузьмин Л.В. et al // *Радиотехника и электроника*. 2006. Т.51. В. 5. С. 593.