

# СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫЕ БЕСПРОВОДНЫЕ ПРЯМОХАОТИЧЕСКИЕ СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

А. С. Дмитриев<sup>1</sup>, А. В. Сидоренко<sup>2</sup>, Ю. В. Андреев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт радиотехники и электроники имени В. А. Котельникова  
РАН, Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Белорусский государственный университет  
Минск, Беларусь*

*E-mail: sidorenkoA@yandex.ru*

Представлены принципы работы и описан структурный состав беспроводных сетей передачи с приемопередатчиками, использующими в качестве носителя информации сверхширокополосные хаотические радиоимпульсы. Приведены технические характеристики выпускаемых приемопередатчиков линейки ППС. Описаны возможности построения сетей разной топологии, от простых сетей типа «звезда» до mesh-сетей.

*Ключевые слова:* беспроводные системы связи, сенсорные сети, динамический хаос, СШП приемопередатчики

Гармонические колебания долгое время были единственным и продолжают оставаться основным типом носителя при передаче информации. Однако в последние годы монополия таких сигналов начинает подвергаться давлению со стороны сигналов других типов. В практику массовой радиосвязи вводятся сверхширокополосные (СШП) радиосигналы [1–3], которые могут быть представлены сверхкороткими импульсами, хаотическими сигналами, OFDM-сигналами, ЛЧМ-сигналами и др. (см. обзор СШП сигналов в [4]). Одна из ключевых проблем применения СШП сигналов внутри помещений для радиосвязи на коротких расстояниях – вторичное использование спектра, т. е. применение сигналов настолько низкой спектральной плотности, что они не оказывают помех традиционным узкополосным системам радиосвязи, попадающим в их полосу; в то время как ширина полосы частот СШП сигналов достаточно велика, чтобы на расстояниях 1–30 м в приемном устройстве выполнялись необходимые требования по величине отношения сигнал/шум.

Национальное регулирование применения СШП сигналов в разных странах имеет свои особенности, однако речь, как правило, идет о сигналах с полосой не менее 500 МГц в диапазоне частот 3–10 ГГц со спектральной плотностью мощности не выше 41,3 дБм/МГц [4]. Важно, что этот диапазон является «новым» и незанятым в отличие от нелицензируемых ISM-диапазонов типа 2,4–2,485 ГГц. В Российской Федерации для СШП связи выделен диапазон 2,85–10,6 ГГц [3].

Одним из наиболее перспективных типов сигналов для СШП связи являются хаотические (шумоподобные) колебания, порождаемые нелинейными динамическими системами, генераторами хаоса. Ключевое понятие такой технологии связи – хаотический радиоимпульс. Он представляет собой фрагмент сигнала с длиной, превышающей длину квазипериода хаотических колебаний. Полоса частот хаотического радиоимпульса определяется полосой частоты исходного хаотического сигнала, генерируемого источником хаоса, и в широких пределах изменения длины импульса и не зависит от его длительности. Это существенно отличает хаотический радиоимпульс от классического, заполненного фрагментом периодической несущей, полоса частот которого определяется длиной импульса.

Хаотические импульсы как носитель информации для беспроводных средств связи предложены в ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН в 2000 году [5,6]. В 2007 году по предложению ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН и компании Samsung они включены в качестве опционального решения в стандарт беспроводной персональной связи IEEE 802.15.4a [2]. Тогда хаотические радиоимпульсы были впервые признаны международным научно-техническим сообществом в качестве эффективного носителя информации для беспроводных сверхширокополосных систем связи. В начале 2012 года вышел новый стандарт IEEE 802.15.6 для беспроводных нательных сетей [7]. В нем используется беспроводная прямохаотическая передача информации, теперь уже в качестве одного из основных решений.

В основу прямохаотической передачи [5, 6] положены следующие принципы (см. рис. 1):

- несущий хаотический сигнал генерируется непосредственно в полосе частот канала, выделенного для передачи информации;
- передаваемая информация кодируется потоком хаотических радиоимпульсов, формируемых из несущего хаотического сигнала;
- прием, демодуляция информации осуществляются в той полосе частот канала связи, без промежуточных преобразований частоты.

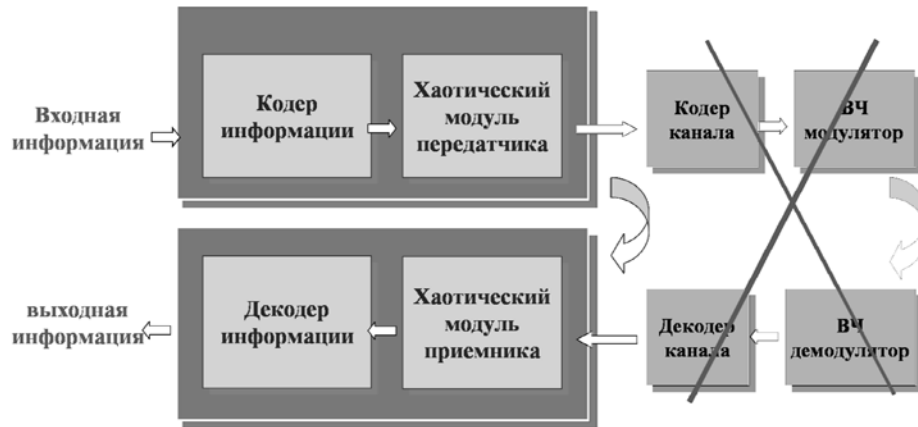


Рис. 1. Структура прямохаотической системы связи

В простейшем варианте система передачи реализуется следующим образом. Передатчик строится на основе генератора, генерирующего хаотические ограниченные по полосе колебания необходимого диапазона частот; модулятор представлен ключом, который пропускает хаотический сигнал на заданном временном интервале при передаче бинарного символа «1» и закрывается, если на этом временном интервале надо передать символ «0» («нулевой импульс»). Таким образом, информация кодируется ортогональной системой сигналов. Для надежности приема хаотических радиоимпульсов в многолучевой среде формируются защитные «пустые» интервалы между позициями импульсов. Прием хаотических радиоимпульсов осуществляется энергетическим приемником на основе детектора огибающей и порогового устройства, преобразующего принятый сигнал в цифровую форму.

Помимо описанного способа модуляции (ввода информации в хаотический сигнал) типа ООК, возможны системы сигналов, связанные с относительным положением хаотического радиоимпульса на временных позициях (например, PPM), дисперсией хаотических радиоимпульсов и т. д.

Прямохаотические системы, у которых спектр мощности не зависит от длины импульса, а следовательно, и от величины базы сигнала, не имеют энергетических ограничений, свойственных системам с короткими импульсами, и при любой скорости передачи сохраняют в системах связи идеологию «один бит – один импульс». Это является одним из существенных естественных преимуществ по сравнению с другими СШП системами и значительно упрощает аппаратные решения.

В настоящее время разработаны и выпускаются опытно-промышленными партиями сверхширокополосные приемопередатчики линейки ППС, представленные устройствами диапазона 3–5 ГГц (ширина полосы частот несущего сигнала 2 ГГц), предназначенными для связи на расстояниях до 10–30 м (в основном это связь внутри помещений). Физическая скорость передачи от 2,5 до 6 (12) Мбит/с, при этом скорость передачи данных может гибко изменяться от нуля до верхнего предела. Данные приемопередатчики характеризуются низким энергопотреблением, наличием универсального интерфейса USB; физический уровень приемопередатчиков соответствует стандартам 802.15.4a, 802.15.6; подключение сторонних источников данных осуществляется по UART, SPI и другим стандартным протоколам.

Низкое энергопотребление приемопередатчиков ППС обеспечивается использованием соответствующих электронных компонентов, программированием спящих (standby) режимов различной «глубины», тщательным планированием энергопотребления элементами приемопередатчика во время рабочего цикла.

Основное назначение СШП прямохаотических приемопередатчиков – работа в сети. В последнее десятилетие сетевые методы организации беспроводной передачи информации получили очень широкое распространение, начиная от сети Wi-Fi до беспроводного интернета в мобильных сетях, сетях Wi-Max и т. д.

Основные области применения – беспроводные сенсорные сети сверхмалого потребления, связь персонального уровня, связь внутри зданий и помещений. Приемопередатчики ППС предназначены для передачи цифровых данных различного назначения, включая сенсорные данные, мультимедийные данные (речевые, видео), как в режиме «точка–точка», так и по сети.

Приемопередатчики ППС разрабатывались именно для применения в сетевой инфраструктуре. Сетевые возможности приемопередатчиков обеспечиваются программным обеспечением (ПО), загружаемым в микроконтроллер, управляющий работой приемопередатчика. В настоящее время имеется ПО, позволяющее строить сети разной топологии, от простых сетей типа «звезда» до mesh-сетей (ячеистых), включая программное обеспечение для построения самоорганизующихся ad-hoc сетей сбора данных. Приемопередатчики ППС функционально взаимозаменяемы, каждый приемопередатчик способен работать как оконечное устройство, ретранслятор, базовая станция (при соединении с ПК). Благодаря низкому энергопотреблению в ряде приложений мониторинга данных приемопередатчики способны работать до года без замены батарей (при 10 % рабочем цикле).

Возможные области применения включают:

- беспроводные сети персонального уровня (UWB, WPANs),
- беспроводные сенсорные сети, требующие большого времени автономной работы без замены батарей питания,
- экологически безопасные сети,
- мультимедийные сенсорные сети,
- беспроводные сети медицинского назначения (WBANs),
- самоорганизующиеся сети,
- сети со сложной структурой (mesh-сети).

Для ознакомления с принципами создания и функционирования сверхширокополосных прямохаотических средств связи и сверхширокополосных беспроводных сетей создан учебно-научно-исследовательский комплекс (УНИК) «Сверхширокополосные беспроводные сенсорные сети» (рис. 2).



Рис. 2. Учебно-научно-исследовательский комплекс «Сверхширокополосные беспроводные сенсорные сети»

Он представляет собой законченную платформу для обучения, исследований и создания приложений со сверхширокополосными беспроводными системами персональной связи и сенсорными сетями в нелицензируемом диапазоне 3,1–5,0 (4,2–4,6) ГГц. Комплекс содержит все компоненты, необходимые для быстрого развертывания сверхширокополосной беспроводной персональной mesh-сети с многошаговой маршрутизацией (рис. 3).

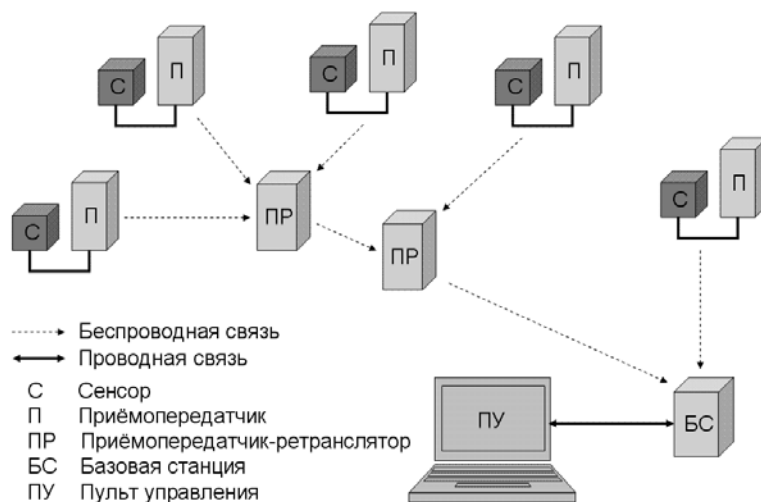


Рис. 3. Архитектура сети УНИК «Сверхширокополосные беспроводные сенсорные сети»

## Библиографические ссылки

1. Revision of part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems, First Report and Order. ET Docket 98-153, FCC 02-48; 2002. April 22. Washington: Federal Communications Commission (FCC), 2002.
2. 802.15.4a –2007. IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange Between Systems – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirement Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs). N. Y.: IEEE. 2007.
3. О результатах работ по конверсии радиочастотного спектра по вопросу использования полосы частот 2,85-10,6 ГГц сверхширокополосными беспроводными устройствами // Решение ГК РЧ № 09-05-02 от 15.12.2009 г.
4. *Андреев Ю. В., Дмитриев А. С., Кузьмин Л. В., Мохсени Т. И.* Сверхширокополосные сигналы для беспроводной связи // Радиотехника. 2008. № 8. С. 83–90.
5. *Дмитриев А. С., Кяргинский Б. Е., Максимов Н. А.* Перспективы создания прямохаотических систем связи в радио и СВЧ диапазонах // Радиотехника. 2000. № 3. С. 9–20.
6. *Дмитриев А. С., Панас А. И., Старков С. О.* Прямохаотические схемы передачи в сверхвысоко-частотном диапазоне // Радиотехника и электроника. 2001. Т. 46. № 2. С. 224–233.
7. IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Part 15.6: Wireless Body Area Networks. 2012.