

# СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫЕ ПРЯМОХАОТИЧЕСКИЕ БЕСПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ СВЯЗИ И СЕНСОРНЫЕ СЕТИ

А. С. Дмитриев, Е. В. Ефремова, А. В. Клецов, Л. В. Кузьмин, Н. В. Румянцев  
Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН  
Москва, ул. Моховая, 11/7, chaos@cplire.ru

**Аннотация** — Рассматриваются сверхширокополосные средства связи, использующие в качестве носителя информации хаотические радиоимпульсы. В качестве перспективных приложений таких систем обсуждаются беспроводные сенсорные сети.

## I. Введение

Беспроводная сенсорная сеть (БСС) представляет собой совокупность взаимодействующих узлов, состоящих из датчиков (сенсоров), вычислительного устройства, осуществляющего управление узлом, и приемопередатчика, передающего информацию от датчиков по (беспроводной) коммуникационной сети на центральный пункт.

Современные исследования БСС начались в первой половине 1990-х гг. [1]. В результате этих исследований в Калифорнийском университете (Беркли) была разработана концепция беспроводных сенсорных сетей, получившая название «Умная пыль» [2]. Идея «умной пыли» подразумевает, что узлы сети представляют собой крошечные, беспроводные сенсоры или «пылинки», которые в процессе функционирования должны самостоятельно находить друг друга и организовывать коммуникационную сеть для передачи информации от сенсоров в пункт управления. На первом этапе инициаторам проекта было предложено создать прототипы пылинок на основе уже имеющейся элементной базы. Эта часть задачи была решена путем создания сенсорного узла MICA-2 и его вариантов [3].

Для достижения конечной цели — создания крошечных устройств, способных объединяться в сеть, предстоит решить ряд серьезных технических проблем. Среди них выбор и разработка каналов связи для передачи информации, приемопередатчик, источник питания и т.п.

Исследования в области беспроводных сенсорных сетей явились основой для разработки первого адаптированного для БСС стандарта беспроводной связи IEEE 802.15.4 и его промышленной версии ZigBee. Целью расширения возможностей использования персональной беспроводной связи, в том числе для сенсорных сетей, в 2007 г. был принят стандарт IEEE 802.15.4a, предусматривающий использование в качестве носителей информации сверхширокополосных (СШП) электромагнитных сигналов.

## II. Сверхширокополосные сигналы и беспроводные сенсорные сети

К сверхширокополосным относят сигналы со средней частотой  $F_c$  и полосой  $\Delta F$ , имеющие относительную полосу  $D = \Delta F/F_c > 0,2 \dots 0,25$ , а также сигналы с полосой  $\Delta F > 500$  МГц (в диапазоне частот 3,1 – 10,6 ГГц) [4].

К основным СШП беспроводным технологиям относятся: ультракороткие импульсы [5, 6]; короткие радиоимпульсы (цуги колебаний) [7]; хаотические радиоимпульсы [8, 9]; пачки коротких импульсов [6]; сигналы с прямым расширением спектра [10]; сигналы с ортогональной частотной модуляцией; СШП сигналы на основе частотной модуляции.

Основная идея массового гражданского применения СШП связи заключалась в том, чтобы создать чрезвычайно простые и дешевые беспроводные средства связи.

Использование СШП сигналов для связи между узлами в БСС выглядит очень привлекательно: оно позволяет создать устройства малых размеров и обеспечить высокие коммуникационные характеристики в реальных каналах в условиях многолучевых искажений; в СШП БСС узлы могут контактировать только с близлежащими соседями и, благодаря низкой мощности, избегать межузловой интерференции, которая существует в узкополосных системах.

Однако, несмотря на все достоинства, СШП технология порождает и уникальную совокупность проблем. Так, маломощные ультракороткие или короткие импульсы с базой сигнала  $B \sim 1$  при увеличении расстояния между узлами не могут надлежащим образом передавать информацию. Малая длительность СШП сверхкоротких импульсов вызывает большие проблемы при синхронизации сенсорных узлов в БСС. Возможно возникновение интерференции со стороны мощных узкополосных сигналов, которые разделяют спектральную область с маломощными СШП импульсами. Эффекты воздействия канала (такие как многолучевое распространение) на принимаемый сигнал могут приводить к существенной деградации процесса детектирования из-за низкой корреляции между заранее определенной копией сигнала и искаженным принимаемым сигналом при использовании для детектирования классической техники согласованной фильтрации.

Большинство этих проблем успешно решаются при использовании в качестве носителей информации СШП хаотических радиоимпульсов.

## III. Сверхширокополосная связь на основе хаотических радиоимпульсов

Прямохаотической схемой связи (ПХСС) называется схема связи, в которой:

а) источник хаоса генерирует хаотические колебания непосредственно в заданной полосе СВЧ диапазона;

б) ввод информационного сигнала в хаотический осуществляется путем формирования соответствующего потока хаотических радиоимпульсов;

в) извлечение информации из СВЧ сигнала производится без промежуточного преобразования частоты.

Существенно, что для передачи информации в ПХСС используется не непрерывный сигнал, а поток импульсов. Комбинация длины и скважности импульса определяет скоростные свойства системы связи и ее устойчивость для различных типов каналов связи.

Теоретический анализ, подтвержденный результатами разработок, показывает, что прямохаотическая передача информации имеет привлекательные характеристики для низкоскоростных (до 1 Мбит/сек) и среднескоростных (до 50 Мбит) систем СШП связи.

К настоящему времени разработано несколько типов СШП прямохаотических приемопередатчиков.

Приемопередатчик ППС-40 предназначен для экспериментов с сенсорами и построения лабораторных сенсорных сетей. Он имеет радиус действия до 15-20 м и используется в качестве средства связи между сенсорами, а также между сенсорами и компьютером. Устройство обладает интерфейсами RS232 и UART, позволяющими подключать различные внешние устройства (сенсоры, аудио- или видеоисточники сигнала) и организовывать экспериментальные сенсорные сети. СВЧ часть передатчика реализована в виде транзисторного генератора хаоса. Для формирования хаотических радиоимпульсов используется внутренняя модуляция сигнала генератора.

Приёмник огибающей сигнала создан на основе логарифмического детектора. Оригинальность приёмника заключается в том, что в нём отсутствует отдельная система автоматической регулировки усиления принимаемого сигнала (АРУ). Регулирование усиления входного сигнала осуществляется самим логарифмическим детектором, имеющим динамический диапазон 50 дБ.

Другой тип приемопередатчика (ППС-50) предназначен для использования в БСС, размещаемых на достаточно больших территориях. Пара таких приемопередатчиков, один из которых связан с сенсором по UART-интерфейсу, а второй используется в качестве терминального устройства либо ретранслятора, образует радиомост. Устройство способно работать на расстояниях до 40–50 м, что примерно в 3 раза больше, чем дальность действия ППС-40.

Специфика работы сенсорной сети требует возможности длительного функционирования СШП приемопередатчика без замены источников питания. Поэтому при разработке приемопередатчика ППС-50 большое внимание было уделено энергосбережению и, в частности, спящим режимам.

Для обучения будущих разработчиков и потребителей БСС разработан учебно-научно-исследовательский комплекс (УНИК) «Сверхширокополосные беспроводные сенсорные сети», включающий в себя СШП прямохаотические приемопередатчики, сенсорные блоки с датчиками температуры, влажности, освещенности и ускорения, программное обеспечение, методические материалы и описание комплекса лабораторных работ. С помощью комплекса могут решаться как учебные, так и исследовательские задачи по построению и применению сенсорных сетей.

#### IV. Заключение

СШП сенсорные сети способны стать основой для чрезвычайно перспективного технологического направления, способного оказать революционное воздействие на все сферы жизни, подобно тому, как в предыдущие десятилетия это сделала компьютерная техника.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 09-02-00983-а, № 09-07-92651-ИНД\_а и гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (МД-4131.2009.9).

#### V. Список литературы

- [1] *Wireless sensor networks – a mission to the USA*. Report of DTI global watch mission. November 2005.
- [2] *Doherty L., Warneke, B. A., Bozer B. E., Pister, K. S. J.* // *Int. Journal of Parallel and Distributed Systems and Networks*. 2001. Vol. 4. No. 3. P. 121–133.
- [3] *Crossbow Technology Inc. MTS/MDA Sensor Board Users Manual*. San Jose: 2007.
- [4] *New public safety applications and broadband Internet access among uses envisioned by FCC authorization of ultrawideband Technology / FCC Release News*. Feb. 14. 2002.
- [5] *Win M. Z., Scholtz R. A.* // *IEEE Communications Letters*. 1998. Vol. 2. P. 10.
- [6] *McCorkley J. A Tutorial on ultra wideband technology // IEEE 802.15 Working Group, submission*. N.Y.: IEEE, 2000.
- [7] *Kelly J. Time Domain's Proposal for UWB Multi-band Alternate PHY Layer for 802.15.3a*. N.Y.: IEEE. 2003.
- [8] *Дмитриев А. С., Панас А. И., Старков С. О., Кяргинский Б. Е.* // *Радиотехника и электроника*. 2001. Т. 46. № 2. С. 224.
- [9] *А. С. Дмитриев и др.* // *Радиотехника и электроника*. 2002. Т. 47. №10. С. 1219.
- [10] *TG4a Proposal for Low Rate DS-UWB*. N.Y.: IEEE. 2005.

### ULTRAWIDEBAND DIRECT CHAOTIC WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS AND SENSOR NETWORKS

Dmitriev A. S., Efremova E. V., Kletsov A. V.,  
Kuzmin L. V., Rumyantsev N. V.  
*Kotel'nikov Institute of Radio Engineering  
and Electronics of RAS*  
Mohovaya st., 11/7, Moscow, 125009, Russia  
e-mail: chaos@cplire.ru

*Abstract* — The ultrawideband communication facilities where chaotic radio pulses are used as an information carrier are considered. As perspective applications of such systems the wireless sensor networks are discussed.

#### I. Introduction

The wireless sensor network (WSN) is a set of communicating nodes, composed of a sensor, a controller, and a transceiver that delivers data from sensors to the central point via wireless network. Investigations in the field of WSN have given rise to IEEE standard 802.15.4 intended for WSN, and 802.15.4a that is devoted to the use of UWB signals as information carriers.

#### II, III. Main part

The main UWB communication technologies and signals are discussed. Problems that occur in WSN applications are described. The technology of direct chaotic communication (DCC) might solve many of these problems. It is based on the use of chaotic radio pulses as information carriers.

Several types of UWB DCC transceivers are described, that have been already designed and used in various WSN application areas.

#### IV. Conclusion

UWB WSN might become a basis for perspective technological direction that will change all aspects of human life, as it has been done by the computers during the last decades.