

## Экспериментальный макет сверхширокополосной беспроводной сенсорной сети для медицинских учреждений

А.С. Дмитриев<sup>1,2</sup>, А.И. Рыжов<sup>1</sup>, В.А. Лазарев<sup>1</sup>, М.Г. Попов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН  
Российская Федерация, 125009, Москва, ул. Моховая, 11, стр.7, chaos@cplire.ru

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)  
Российская Федерация, 141700, г. Долгопрудный, Московской обл., Институтский пер., 9

*Предложена концепция сверхширокополосных (СШП) беспроводных сенсорных сетей (БСС) медицинского назначения, использующая в качестве носителей информации хаотические радиоимпульсы. Для обоснования работоспособности концепции и проверки соответствия фактических свойств теоретическим оценкам создан ряд компонентов СШП БСС, реализованы фрагменты сетей с различной топологической структурой и проведены экспериментальные исследования по сбору медицинских данных.*

*The concept of ultra wideband (UWB) wireless sensor networks (WSN) based on chaotic radio pulses is introduced for medical applications. A set of components for wireless sensor networks has been developed to justify the workability of the concept and to compare their characteristics with the theoretical estimations. The fragments of WSN with different topology have been created in order to conduct experimental research dealing with medical data accumulation.*

### Введение

В современной медицине остро стоит проблема автоматизации процесса наблюдения за показателями физического состояния организма (электрокардиограмма, давление крови, пульс, дыхание, температура) пациентов, находящихся на стационарном лечении в больницах и клиниках. По данным работ [1,2] от 4 до 17% смертельных случаев в больницах США вызваны остановкой сердца. Исследование подобных случаев показало, что около 70% из них могли бы быть предотвращены при заблаговременном обнаружении ухудшения состояния пациентов, однако необходимое для этого наблюдение за состоянием организма в настоящее время осуществляется лишь в отделениях интенсивной терапии.

Проблема может быть решена при помощи беспроводных сенсорных сетей, которые позволят обеспечить мониторинг основных показателей состояния организма с необходимой частотой снятия данных [3]. При этом критически важным является выбор типа беспроводных сенсорных сетей, обеспечивающих решение требуемых задач.

В работе рассматривается задача создания беспроводных сенсорных сетей (БСС) на основе сверхширокополосных (СШП) приёмопередатчиков для сбора медицинских показателей пациентов.

### Компоненты сверхширокополосной беспроводной сенсорной сети

Сверхширокополосная беспроводная сенсорная сеть состоит из следующих основных элементов.

*Сенсорный узел* – устройство, состоящее из датчика и приёмопередатчика.

*Ретранслятор* – приёмопередатчик, принимающий пакет из радиоэфира и отправляющий его в радиоэфир.

*Базовая станция* – приёмопередатчик, подключенный к компьютеру и осуществляющий сбор данных из сети.

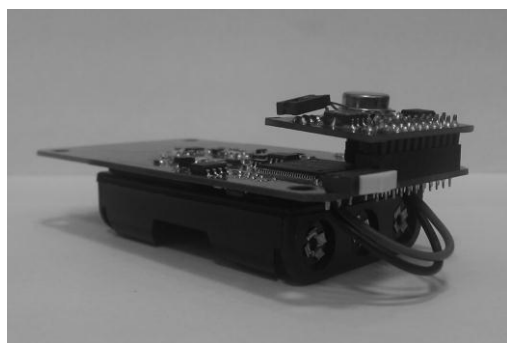
*Приёмопередатчики.* В качестве узлов БСС будем использовать сверхширокополосные прямохаотические приёмопередатчики ППС-43 [4].

Характеристики приёмопередатчиков представлены в табл. 1.

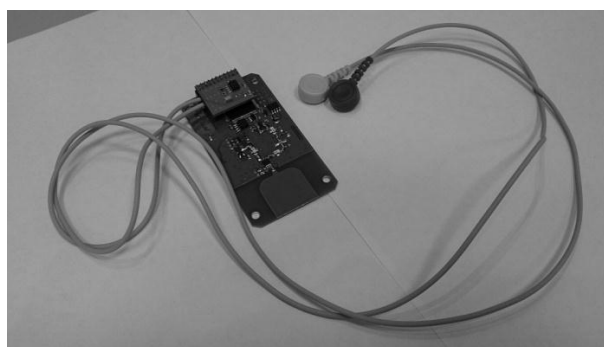
Таблица 1. Характеристики приёмопередатчиков ППС-43.

Физическая скорость передачи	Рабочая частота	Потребляемый ток	Чувствительность	Излучаемая мощность
до 6 Мбит/с	3-5 ГГц	3,5 мА ~ 64 кбит/с	-79 дБм ~ 64 кбит/с,	-16 дБм ~ 64 кбит/с
		8,9 мА ~ 256 кбит/с	-73 дБм ~ 256 кбит/с,	-10 дБм ~ 256 кбит/с
		30,3 мА ~ 1 Мбит/с	-67 дБм ~ 1 Мбит/с	-4 дБм ~ 1 Мбит/с

Приёмопередатчик ППС-43 предназначен для передачи данных в режиме «точка – точка», а также для использования в сверхширокополосных беспроводных сенсорных сетях. Он может использоваться в качестве приёмопередатчика сенсорного узла, ретранслятора и, совместно с компьютером, в режиме базовой станции. Устройство имеет специальный разъём для подключения сенсорной платы с аналоговыми и цифровыми датчиками.



**Рис. 1. Плата с датчиками, подключенная к приёмопередатчику ППС-43.**



**Рис. 2. Внешний вид пульсометра подключённого к плате приёмопередатчика.**

*Подключаемые датчики.* На рис. 1 представлена плата с сенсорами, входящая в комплекс «УНИК» [5], в составе которой имеются аналоговые датчики температуры, влажности и освещённости, а также цифровой акселерометр. Данные с сенсорной платы для каждого из датчиков снимаются с частотой 1 Гц и каждый отсчёт занимает 2 байта.

Комплекс мониторинга предназначен для медицинского использования, поэтому в дополнение к упомянутым стандартным датчикам был разработан специальный датчик – пульсометр, который позволяет измерять пульс пациента и оценивать вид пульсовой волны. Внешний вид пульсометра представлен на рис. 2. Он имеет 2 электрода (дифференциальный сигнал), которые могут подключаться к запястью или к грудной клетке в области сердца. На выходе пульсометра формируется аналоговый сигнал в диапазоне напряжений от 0 до 3.3 В, который затем поступает на АЦП микроконтроллера, расположенного на приёмопередатчике. Частота съёма данных на АЦП составляет 200 отсчётов в секунду, каждый отсчёт занимает 2 байта данных.

*Состав и структура сети.* Предлагаемая сверхширокополосная БСС медицинского назначения включает в себя базовую станцию, сенсорные узлы (состоит из СШП приёмопередатчика и подключенного к нему сенсора требуемого типа), ретрансляторы и персональный компьютер с установленной программой управления сенсорной сетью. При разворачивании БСС в медицинском учреждении могут быть использованы следующие типичные топологии:

1) топология «звезда», соответствует случаю, когда необходимо снимать данные от нескольких пациентов в одной палате, или от нескольких датчиков, использующих различные приемопередатчики для передачи данных;

2) топология «цепочка», соответствует случаю передачи данных по длинным помещениям (например, коридоры);

3) топология «дерево», соответствует случаю сбора данных от нескольких пациентов, расположенных в различных палатах.

*Алгоритм сбора и передачи информации.* Сбор информации на сенсорном узле с аналогового датчика осуществляется под управлением микроконтроллера, который при помощи встроенного АЦП с заданной частотой оцифровывает аналоговый сигнал от подключенного датчика. Полученный отсчет записывается в память микроконтроллера, где затем формируется пакет с данными для отправки в радиозфир.

Передача информации в БСС осуществляется следующим образом. Сенсорный узел периодически посылает в эфир пакеты с данными. Эти пакеты принимаются узлом-ретранслятором, расположенным в области радиовидимости сенсорного узла, после чего на устройстве, принявшем сигнал, происходит проверка контрольной суммы. В случае успешной проверки осуществляется дальнейшая обработка пакета.

Для борьбы с избыточным трафиком на узлах-ретрансляторах введены специальные таблицы разрешённых адресов, и для передачи пакета ретранслятором необходимо, чтобы адрес отправителя в пришедшем пакете содержался в этой таблице. При этом на каждой ретрансляции в пакет добавляется адрес устройства, через которое осуществляется ретрансляция, поэтому, когда пакет доходит до базовой станции, в нем имеется полная информация о маршруте, по которому был доставлен пакет.

Для того, чтобы один и тот же пакет не был передан одним и тем же ретранслятором более одного раза (такая ситуация возможна, когда сенсорный узел одновременно «слышит» более чем один ретранслятор), на ретрансляторе сохраняются поля с номером пакета и номером сенсорного узла (отправителя) из последнего ретранслированного пакета.

### **Описание проведённых экспериментов**

Для испытания БСС на основе СШП хаотических приёмопередатчиков был проведен ряд экспериментов с типовыми вариантами топологии сети, возможными при использовании БСС в медицинском учреждении. Основными задачами проведения экспериментов являлись проверка работоспособности предлагаемого подхода и оценка его эффективности.

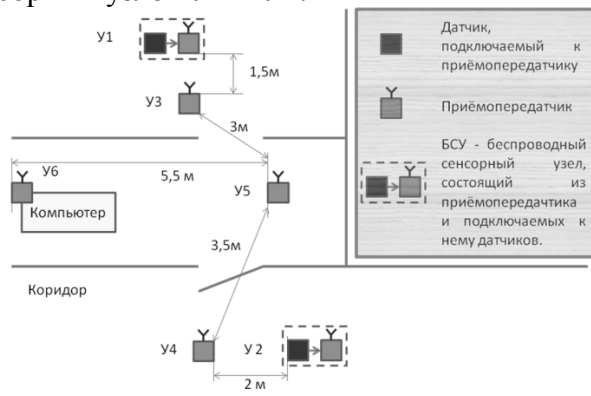
Все испытания проводились в коридоре института Радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН.

*Эксперименты по передаче данных из нескольких помещений (статический режим).*

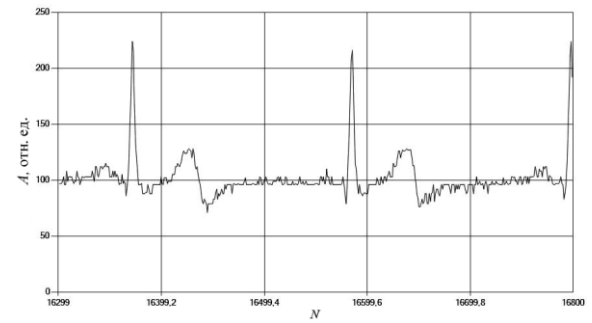
В экспериментах проверялась работа сети при приёме данных от сенсорных узлов, расположенных в двух помещениях, базовая станция находилась вне прямой видимости сенсорных узлов, которые осуществляли сбор данных. Топология сети имела вид «дерева» с двумя ветвями.

При проведении испытания использовались 2 сенсорных узла (У1, У2) (источником данных в экспериментах являлись датчики температуры), 3 ретранслятора (У3, У4, У5) и 1 базовая станция (У6). Схема эксперимента представлена на рис. 3. Данные от сенсорного узла У1 передавались на ретранслятор У3, после чего попадали на ретранслятор У5 и затем принимались базовой станцией У6. Аналогично передавались данные от сенсорного узла У2, расположенного в коридоре: данные через ретранслятор У4 попадали на ретранслятор У5, после чего их принимала базовая станция. После

обработки и визуального представления, на компьютере появлялись данные от сенсорных узлов У1 и У2.



**Рис. 3. Схема расположения узлов сети при сборе и передаче данных из двух помещений.**



**Рис. 4. Схема расположения узлов сети при сборе и передаче данных из двух помещений.**

Обработка и визуализация данных на компьютере производилась при помощи специально разработанной программы «Wireless sensor network control center».

В экспериментах с СШП БСС в топологии типа «дерево», при независимом снятии данных от сенсорных узлов не наблюдались коллизии из-за столкновения пакетов.

*Эксперименты по передаче данных от ансамбля сенсорных узлов.*

В экспериментах изучалась возможность работы БСС в случае одновременного сбора информации от нескольких сенсорных узлов, данные от которых поступали на базовую станцию через ретранслятор. Топология сети представляла собой комбинацию топологий «звезды» и «цепочки».

При проведении экспериментов использовались 10 сенсорных узлов (У1-У10), узел ретранслятор (У11) и базовая станция (У12). Все сенсорные узлы сети работали в асинхронном режиме, посылая данные один раз в секунду.

Эксперименты показали, что в такой топологии сети система устойчиво работает в асинхронном режиме. При этом теоретические оценки показывают, что устойчивый характер функционирования сети сохранится при увеличении числа сенсорных узлов по меньшей мере в десять раз по сравнению с числом узлов, использовавшихся в экспериментах.

*Эксперименты по передаче данных от движущегося сенсорного узла.*

Задачей экспериментов являлась проверка работы сверхширокополосной беспроводной сенсорной сети в случае передачи данных от сенсорного узла, перемещающегося вдоль цепочки ретрансляторов. Данные от узла принимает ближайший к нему ретранслятор. Эксперименты соответствуют ситуации, когда по коридору медицинского учреждения перемещается пациент с датчиком. В отличие от предыдущих испытаний, топология сети динамически изменялась в зависимости от положения сенсорного узла.

При проведении экспериментов использовался сенсорный узел (У1), 3 приёмопередатчика-ретранслятора (У2, У3, У4) и базовая станция (У5).

Данные от подвижного сенсорного узла У1, расположенного на передвижной тумбе, поступали на тот ретранслятор, в области которого находился в данный момент узел У1, после чего передавались на следующий в цепочке ретранслятор, находящийся ближе к базовой станции У5 и т.д. После серии ретрансляций данные поступали на базовую станцию У5.

В начальный момент времени тумба с сенсорным узлом У1 располагалась рядом с ретранслятором У2 в коридоре. Данные от сенсора поступали на компьютер по маршруту, проходящему через ретрансляторы У2, У3 и У4.

Затем тумба была перемещалась по коридору в сторону ретрансляторов У3 и У4.

Во время проведения экспериментов было установлено, что данные от сенсорного узла У1 непрерывно поступают на базовую станцию и отображаются на экране компьютера, в том числе при передвижении тумбы по коридору.

#### *Эксперименты по передаче данных от пульсометра*

В медицинских учреждениях приходится сталкиваться с датчиками, являющимися требовательными к пропускной способности сети. Такими датчиками являются, например, датчики для снятия электрокардиограмм. Одновременное использование многих датчиков такого типа будет приводить к большой нагрузке сети. В рассматриваемых ниже экспериментах осуществлялась передача электрокардиограмм от сенсорного узла с кардиодатчиком – пульсометром, представленного на рис. 2, на базовую станцию и оценивалось качество этой передачи. Затем, на основе полученных в эксперименте данных, были произведены оценки максимального количества датчиков, передачу данных от которых сможет обеспечить сеть.

Скорость передачи данных от пульсометра составляла 3200 Бит/с. Эксперименты проводились в режиме «точка – точка».

В ходе экспериментов базовая станция комплекса подключалась к компьютеру. К приёмопередатчику, расположенному у пациента, подключался пульсометр, электроды которого закреплялись на запястьях испытуемого.

Программа на компьютере получала переданные данные от пульсометра, после чего в режиме реального времени в ней строился график пульсовой волны (рис. 4).

В результате проведенных экспериментов было установлено, что данные от пульсометра передавались корректно на требуемой скорости, с потерей информации, не превышающей 1%. На полученном графике отчетливо выделяются пики пульсовой волны, которые позволяют при дальнейшей обработке автоматически подсчитывать пульс пациента, а также дают возможность специалисту дать более точную оценку состояния пациента.

Поскольку надежная передача данных не требует в рассматриваемой системе перезапросов или других специальных мер для понижения вероятности ошибок, простые оценки показывают, что в случае работы сети в синхронном режиме возможно подключение около 250 каналов с передачей ЭКГ. Это более чем на порядок превышает возможности узкополосных сенсорных систем на основе технологии ZigBee.

#### **Литература**

1. Chipara O., Lu C., Bailey T.C. Reliable Clinical Monitoring using Wireless Sensor Networks: Experiences in a Step-down Hospital Unit // SenSys'10. – November 3–5, 2010. – Zurich, Switzerland.
2. Dor R.[et al.] Experiences with an End-To-End Wireless Clinical Monitoring System // Conference on Wireless Health (WH'12). – October, 2012.
3. Yang G.-Z. Body Sensor Networks. – London: Springer, 2006.
4. Дмитриев А.С., Лазарев В.А., Герасимов М.Ю., Рыжов А.И. Сверхширокополосные беспроводные нательные сенсорные сети // Радиотехника и электроника. – 2013. – Т.58, №12. – С. 1160-1170.
5. Дмитриев А.С., Кузьмин Л.В., Юркин В.Ю. // Прикладная нелинейная динамика. 2009. Т. 17. №4. С. 90.