

# Сети стандарта IEEE 802.15.6

**В 2012 г. появился новый стандарт персонального радиодоступа Body Area Network (BAN) IEEE802.15.6. Стандарт рассчитан прежде всего на использование в медицине и для мониторинга параметров человеческого тела. Рассмотрена структура сети BAN, приведены основные характеристики стандарта (диапазоны частот, полосы радиоканалов, скорости передачи данных), описаны типы передаваемого трафика и технологии передачи.**

**Сергей Писарев, д. т. н.  
Мстислав Сиверс, д. т. н.  
Александр Рыжков, к. т. н.  
aryjkov@mail.ru**

**Владимир Лаврухин**

**В**недрение новых телекоммуникационных услуг обеспечивается все более широким использованием беспроводных самоорганизующихся сенсорных сетей, позволяющих проводить качественный мониторинг различных объектов и окружающей их среды [1]. В англоязычной литературе сети такого рода называют ad hoc-сетями. Это специальные децентрализованные сети, состоящие из абонентских устройств — сенсоров. Сенсоры представляют собой миниатюрные беспроводные телекоммуникационные устройства, которые предназначены как для мониторинга параметров и процессов, происходящих в окружающей среде, так и для передачи данных. Индивидуально каждый сенсор имеет ограниченную область покрытия радиосигнала, вычислительную мощность, память и емкость источника питания. Таким образом, беспроводная сенсорная сеть — это самоорганизующаяся сеть множества датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств, объединенных между собой посредством радиоканала. Область покрытия подобной сети может составлять от единиц метров до нескольких километров за счет ретрансляции сообщений от одного элемента к другому.

Беспроводные сенсорные сети (БСС) стали использовать с конца XX в. БСС состоят из сенсорных узлов, сетевых координаторов и исполнительных устройств, связанных между собой радиointерфейсом. Сенсорный узел, к которому могут быть подключены один или несколько сенсоров, содержит микроконтроллер, приемопередатчик с антенной, источник питания. Особенно интенсивное развитие БСС получили в настоящее время благодаря широкому распространению беспроводных сетей радиодоступа с весьма привлекательными характеристиками. Создание эффективных БСС предъявляет к их элементам, и в первую очередь к сенсорным узлам, определенные требования. Прежде всего, это малая стоимость,

низкое потребление энергии, устойчивость к внешним воздействиям, высокая помехозащищенность и, в некоторых случаях, точность позиционирования.

Для различных областей применения можно использовать, например, сенсорные узлы стандартов IEEE802.15.4 (ZigBee), IEEE802.15.3 (Ultra Wide Band), узлы RFID (Radio Frequency Identification) с активными метками, способными излучать радиосигналы для передачи считывателю.

Области применения сенсорных сетей весьма разнообразны [2]. Укажем наиболее важные:

- своевременное выявление возможных отклонений различных механизмов на основе их мониторинга;
- контроль работы механизмов при их эксплуатации;
- автоматизация технических объектов, например в нефтегазовой промышленности, энергетике и др.;
- контроль окружающей среды при эксплуатации потенциально опасных объектов атомной энергетики, химической промышленности;
- контроль доступа в режиме реального времени к удаленным объектам мониторинга, например при охране музейных ценностей;
- удаленный мониторинг состояния человека, наблюдение за пациентом (больным), снятие в реальном времени характеристик организма: пульса, давления, ЭКГ, энцефалограмм, уровня сахара в крови, помощь инвалидам при слепоте, нарушениях слуха, речи, работы мышц и т. д.;
- сбор и обработка данных о текущем местоположении, перемещениях и физиологическом состоянии персонала, работающего в условиях повышенной опасности, например бойцов спецназа.

Перечисление областей применения сенсорных сетей можно продолжить. Остановимся более подробно на двух последних из приведенного

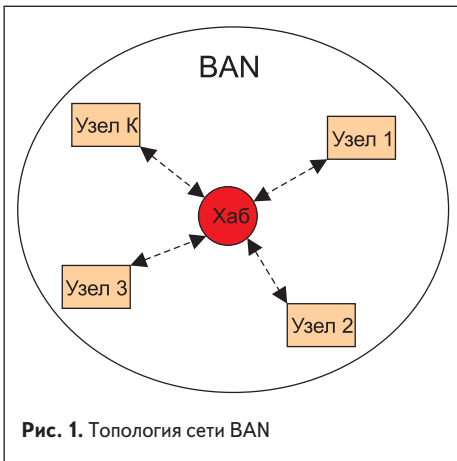


Рис. 1. Топология сети BAN

перечня, поскольку они становятся все более востребованными [3]. В сенсорных сетях, рассмотренных в [3], использована связь через тело человека. Данные с маломощных датчиков передают по телу человека в один из узлов сети, который обеспечивает сбор, обработку и передачу информации на удаленное устройство по каналу радиосвязи. Подобная технология перспективна для Министерства чрезвычайных ситуаций, в войсках спецназначения, в военно-воздушных силах, на флоте.

Потребность в реализации способа связи через тело человека привела к созданию стандарта IEEE802.15.6, который окончательно завершен в 2012 году. Стандарт, получивший официальное название BAN (Body Area Network), описан в спецификациях [4].

Структура сети BAN представлена на рис. 1. Она состоит из координатора (коммутационного устройства) — хаба (Hub) и абонентских узлов (Nodes). Хаб обеспечивает функционирование узлов, координирует доступ к сети и управляет мощностью передатчиков узлов.

Как и в других стандартах семейства IEEE802.X, в стандарте IEEE802.15.6 специфицированы 2 протокольных уровня: физический и уровень доступа к среде (MAC — Medium Access Control). Стандарт поддерживает 3 варианта физического уровня:

- узкополосный NB (Narrowband);
- сверхширокополосный UWB (Ultra Wideband);
- передачу данных через тело человека HBC (Human Body Communication).

Передача информации идет кадрами. Структура кадра варианта NB приведена на рис. 2.

Сообщение для передачи по физическому каналу PSDU (Physical Service Data Unit) формируют на уровне MAC. Оно состоит из заголовка MAC-уровня, собственно информационной части (MAC Frame Body) длиной от 0 до 255 байт и проверочной последовательности. На физическом уровне к нему добавляют преамбулу PLCP (Physical Layer Convergence Procedure) и заголовок PLCP. Прием преамбулы обеспечивает частотную и временную синхронизацию. Заголовок PLCP содержит указатели скорости передачи данных, длины информационной части (MAC Frame Body) и вектора инициализации скремблирующей последовательности. PLCP заголовок и PSDU кодированы кодом BCH (Боуза-Чоудхури-

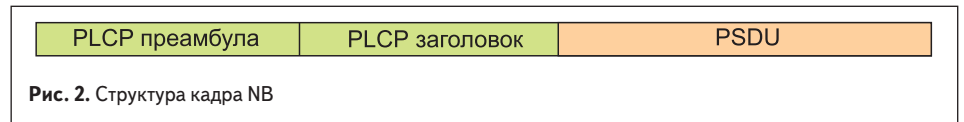


Рис. 2. Структура кадра NB

Хоквингема). Для повышения надежности передачи применяют повторную передачу бит PSDU с последующим перемежением, что, однако, снижает скорость передачи в 2 или 4 раза. Для передачи используют относительную фазовую модуляцию (ОФМ) с разным числом позиций и гауссовую частотную модуляцию с минимальным сдвигом фазы (ГЧММС).

### Вариант NB

Вариант NB может быть реализован в 7 полосах частот. Данные о модуляции, числе частотных каналов и скоростях передачи информации для разных диапазонов приведены в таблице 1.

- В диапазоне 402–405 МГц ширина радиоканала 300 кГц, максимальная мощность передатчика –16 дБм (–40 дБм в режиме Low Power/Low Duty Cycle).
- В диапазоне 420–450 МГц ширина радиоканала 320 кГц, максимальная мощность передатчика –10 дБм.

- В диапазонах 863–870, 902–928 и 950–958 МГц, ширина радиоканала 400 кГц, максимальная мощность передатчика –10 дБм.
- В диапазонах 2360–2400 и 2400–2483,5 МГц, ширина радиоканала 1МГц, максимальная мощность передатчика –10 дБм.

### Вариант UWB

В варианте UWB на физическом уровне используют 2 технологии:

- IR-UWB — Impulse Radio UWB (обязательный вид передачи);
- FM-UWB — Wide Band Frequency Modulation (опциональный вид передачи).

Существуют 2 вида передачи: по умолчанию, для использования в медицинских и немедицинских целях, и передача с высоким QoS для высокоприоритетных медицинских целей. Диапазоны рабочих частот и выделяемых каналов приведены в таблице 2.

В варианте IR-UWB по радиоканалу передают последовательности импульсов. Основными

Таблица 1. Характеристики стандарта IEEE802.15.6. Вариант NB

Диапазон частот, МГц (Число каналов в диапазоне)	Модуляция при передаче PSDU	Символьная скорость, ксимв/с	Повторяемость	Скорость передачи данных, кбит/с
402–405 (10)	2-ОФМ	187,5	2	75,9
	2-ОФМ		1	151,8
	4-ОФМ		1	303,6
	8-ОФМ		1	455,4*
420–450 (12)	ГЧММС	187,5	2	75,9
	ГЧММС		1	151,8
	ГЧММС		1	187,5**
863–870 (14); 902–928 (60); 950–958 (16)	2-ОФМ	250	2	101,2
	2-ОФМ		1	202,4
	4-ОФМ		1	404,8
	8-ОФМ		1	607,1*
2360–2400 (39); 2400–2483,5 (79)	2-ОФМ	600	4	121,4
	2-ОФМ		2	242,9
	2-ОФМ		1	485,7
	4-ОФМ		1	971,4

Примечания: \* — опционально; \*\* — опционально; снято избыточное кодирование в PSDU.

Таблица 2. Характеристики стандарта IEEE802.15.6. Вариант UWB

Группа полос	Номер канала	Центральная частота канала, МГц	Ширина полосы канала, МГц	Характеристика канала
Нижняя часть диапазона	0	3494,4	499,2	Опциональный
	1	3993,5		Обязательный
	2	4492,8		Опциональный
Верхняя часть диапазона	3	6489,6		
	4	6988,8		
	5	7488,0		
	6	7987,2		
	7	8486,4		
	8	8985,6		
	9	9484,8		
	10	9984,0		

**Таблица 3.** Перекодировка информации. Вариант UWB

Бинарный символ ( $b_0, b_1, b_2, b_3$ )	Кодовое слово ( $d_0, d_1, d_2, \dots, d_7$ )
0000	00001111
0001	00010111
0010	00110011
0011	00011011
0100	01011010
0101	00111100
0110	01010101
0111	01100110
1000	01101001
1001	10011001
1010	10010110
1011	10100101
1100	10101010
1101	11000011
1110	11001100
1111	11110000

**Таблица 4.** Структуры пачек импульсов

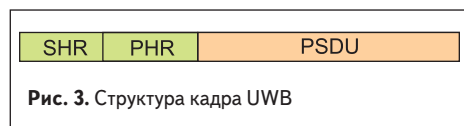
$N_{срб}$	$s_i$
2	10
4	1011
8	11010100
16	1000010101001101
32	10001111100011010010000101011101

характеристиками являются символ длительностью  $T_{сум}$  и окно размером  $T_{ш}$ . Символ разделен на 8 окон. В символе передают 4 бита информации, кодируя их 8-разрядным словом Codeword (табл. 3). Каждый разряд слова передают в своем окне. Передача одного разряда Codeword состоит из одного или пачки  $s_i$  элементарных импульсов длительностью 2,003 нс числом  $N_{срб}$  в группе (табл. 4). Элементарные импульсы в пачке при передаче «0» и «1» в таблице 4 отличаются знаком. Базовым вариантом передачи является простая импульсная модуляция *on-off*: «1» разряда Codeword соответствует передаче пачки импульсов, «0» — паузе. Спецификации стандарта предусматривают возможность использования элементарных импульсов разной формы. Фактически в [4] специфицированы импульсы с линейной частотной модуляцией с девиацией частоты 250 МГц за время передачи одного разряда Codeword.

Основные параметры IR-UWB при работе в режиме *on-off* и скорости передачи данных приведены в таблице 5. Пачки передают со скважностью 32. Скорость избыточного кодирования 0,81. Обязательным вариантом передачи является вариант со скоростью 0,487 Мбит/с. Другие варианты в таблице 5 с более высокими скоростями — опциональны.

Структура кадра варианта UWB показана на рис. 3.

Кадр состоит из заголовка синхронизации SHR (Synchronization Header), заголовка фи-

**Рис. 3.** Структура кадра UWB**Таблица 5.** Параметры режима передачи IR-UWB

$N_{срб}$	Число пачек в секунду	$T_{ш}$ , нс	$T_{сум}$ , нс	Скорость передачи данных, Мбит/с
32	$0,487 \times 10^6$	64,103	2051,3	0,487
16	$0,975 \times 10^6$	32,051	1025,6	0,975
8	$1,950 \times 10^6$	16,026	512,82	1,95
4	$3,900 \times 10^6$	8,012	256,41	3,9
2	$7,800 \times 10^6$	4,006	128,21	7,8
1	$15,600 \times 10^6$	2,003	64,103	15,6

**Таблица 6.** Виды трафика и их приоритеты

Приоритет	Приоритет пользователя	Тип трафика	Информация
Низший	0	Фоновый	Данные
	1	Передача файлов (Best effort)	
	2	Приоритетная передача файлов	
	3	Видео	
	4	Голос	
	5	Медицинские данные или управление сетью	Данные или команды
	6	Приоритетные медицинские данные или управление сетью	
Высший	7	Экстренные медицинские данные или данные с имплантов	Данные

зического уровня PHR (Physical Layer Header) и PSDU. Заголовок PHR содержит информацию о скорости передачи, типе используемых импульсов, длине MAC Frame Body в октетах, скремблирующем коде.

### Вариант HBC

В варианте Human Body Communications (HBC) передачу ведут на частоте 21 МГц. Скорости передачи данных составляют 164 кбит/с (обязательная скорость), 328, 656 и 1312,5 кбит/с опционально. При передаче используют прямое расширение спектра, кодируя 4 информационных бита одним из 16 взаимно ортогональных кодов Уолша.

### Протокольный уровень MAC

Протокольный уровень MAC обеспечивает:

- доступ станций к радиоканалам;
- качественные характеристики передачи; одним из важных показателей характеристик качества является приоритетность пользователей (табл. 6);
- подключение и отключение узлов от хаба;
- управление мощностью передачи;
- возможность работы с защитой передаваемой информации (опционально).

Сеть BAN работает на основе временного дуплекса. Передачу может вести либо хаб, либо один из узлов. Для занятия канала (доступа к сети) в IEEE802.15.6 используют следующие технологии:

- работу с суперкадрами с передачей маяка (beacon);
- работу с суперкадрами без маяка;

- работу без суперкадров.

Структура суперкадра с маяком представлена на рис. 4.

Параметры суперкадра задает хаб. В начале суперкадра хаб передает маяк (B), содержащий системную информацию и длительность отдельных полей (фаз доступа) суперкадра. Внутри суперкадра используют следующие формы доступа:

- EAP1 и EAP2 (Exclusive Access Phase) 1, 2 — эксклюзивный доступ для срочной передачи информации с высшим приоритетом.
- RAP1 и RAP2 (Random Access Phase) 1, 2 — случайный доступ от узлов.
- MAP (Managed Access Phase) — управляемый доступ, когда хаб может выделять интервалы времени для передач вниз и вверх, а также вести обмен кадрами по схеме: запрос (от хаба)/ответ (от узла) типа 1, где указано время для передачи кадров от узла.
- CAP — Contention Access Phase — доступ от узлов на основе состязаний. Перед фазой CAP хаб передает дополнительный маяк B2.

При работе с суперкадрами без маяка доступ к сети BAN возможен только в форме MAP. При работе без суперкадров хаб может резервировать поля доступа вниз и вести обмен кадрами по схеме: запрос/ответ типа 2, где указано максимальное число кадров, которые узел может передать вверх. Если хаб не занимает канал, то узлы выходят на связь, используя варианты доступа EAP1 или RAP1.

Доступ в EAP1, EAP2, RAP1, RAP2 и CAP можно реализовать на основе технологий

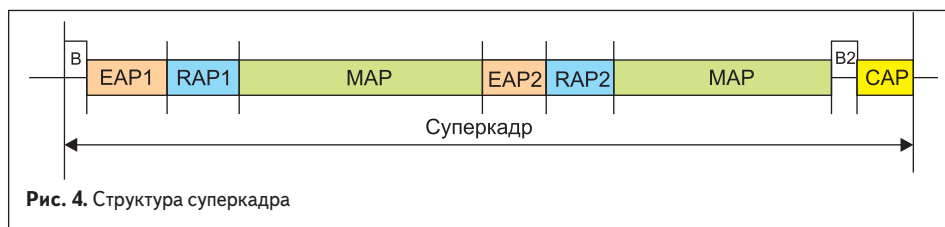
**Рис. 4.** Структура суперкадра

Таблица 7. Размеры границ окон состязаний

Приоритет	0	1	2	3	4	5	6	7
CW <sub>min</sub>	16	16	8	8	4	4	2	1
CW <sub>max</sub>	64	32	32	16	16	8	8	4

CSMA/CA или Aloha. Вариант CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) — многостанционный доступ с контролем несущей и предотвращением коллизий — является базовой технологией для ряда стандартов семейства IEEE802.X. В BAN он состоит в состязании узлов (а в варианте EAP и хаба) в праве занять освободившийся канал. Каждый из участников состязания запускает таймер состязаний (Backoff Timer), устанавливая в нем случайное число BC в выделенном окне состязаний. Далее происходит считывание записанных в таймерах чисел по временным слотам, и тот узел, который первым обнулит таймер, занимает канал. Размер окна состязаний  $[1 - CW]$  зависит от приоритета передаваемого сообщения. В таблице 7 приведены минимальные CW<sub>min</sub> и максимальные CW<sub>max</sub> границы окон состязаний во временных слотах в зависимости от приоритета трафика. Доступ в EAP возможен только при передаче сообщений с максимальным приоритетом 7.

При передаче остальных сообщений используют поля RAP и CAP.

Процедуру доступа поясняет рис. 5 передачи кадра конкретным узлом [4]. В сети BAN после передачи очередного кадра следует защитный межкадровый промежуток SIFS (Short Inter Frame Space) длиной 75 мкс. Узел передает трафик с приоритетом 3 и вначале устанавливает число BC в таймере состязаний в окне  $[1 - CW_{min}]$ . На рис. 5 BC = 3. Когда узел обнулит таймер, канал уже занят и передача невозможна. При следующей попытке BC = 5. На этот раз узел останавливает считывание таймера в момент, когда оставшееся время в поле CAP недостаточно для передачи кадра. В его таймере осталось BC = 2, с которым узел начинает следующее состязание в поле RAP2. Это состязание узел выигрывает, но передача неудачна (не получено подтверждение приема кадра). При каждой четной неудаче размер окна состязаний увеличивается в 2 раза, но не более CW<sub>max</sub>. Наконец, 3-я попытка с BC = 8

удачна, кадр передан с подтверждением приема и для передачи следующего кадра снова устанавливается окно состязаний  $[1 - CW_{min}]$ .

Длина временного слота при считывании таймера  $pCSMASlotLength = pCSMAMACPHYTime + pCCATime$ . Согласно спецификациям  $pCSMAMACPHYTime = 40$  мкс. Время оценки состояния канала  $pCCATime$  (Clear Channel Assessment) составляет 63 символа в варианте NB: 63/(символьная скорость, таблица 1) и 252 мкс в варианте UWB.

### Литература

1. Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В., Кучерявый Е. А. Самоорганизующиеся сети. – СПб, «Любавич». 2011.
2. Самарин А. Электроника, встроенная в одежду, — технологии и перспективы // Компоненты и технологии. 2007. №5.
3. Павлов К. А., Овчинников А. М., Лобанов В. М., Кулдышев А. В. Применение способа беспроводной связи через тело человека для спецтехники// Спецтехника и связь. 2011. №6.
4. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Part 15.6: Wireless Body Area Networks. Approved 6 February 2012.

