

Виктор Денисенко

Беспроводные локальные сети

Часть 2

Модель передачи данных

В IEEE 802.15.4 существует три типа обменных процессов:

- передача от устройства к сетевому координатору;
- передача от сетевого координатора к устройству;
- передача между двумя одноранговыми устройствами.

В звёздной топологии используются только два первых варианта, поскольку в ней не существует обменов между одноранговыми устройствами.

Когда устройство собирается передать данные координатору в сети с маячками, оно сначала пытается обнаружить маячок. Когда маячок найден, устройство подстраивается к структуре суперфрейма. Устройство передаёт данные координатору, используя интервальный (слотовый, "Time Slot") механизм CSMA/CA. В ответ координатор отправляет фрейм уведомления о получении. На этом цикл обмена заканчивается. Если устройство собирается передать данные в сети без маячков, оно передаёт данные, используя безынтервальный метод CSMA/CA.

Когда координатор желает передать данные устройству в сети с маячками, он помещает в маячок информацию о том, что имеются данные, готовые к передаче. Устройство периодически анализирует

содержание маячка и, если в нём имеется информация о наличии сообщения, готового к передаче, устройство передаёт команду запроса данных, используя интервальный метод CSMA/CA. Координатор подтверждает приём запроса данных с помощью фрейма уведомления. Вслед за этим координатор отправляет данные, используя интервальный метод доступа CSMA/CA. Устройство подтверждает приём данных отправкой уведомления (рис. 5).

Если координатор собирается передать данные без использования маячка, он запоминает данные и ждёт запроса от устройства. Устройство может передать команду запроса данных координатору, используя безынтервальный метод CSMA/CA. Координатор сначала посылает уведомление о получении (в том же цикле обмена), затем, используя CSMA/CA, отправляет данные и получает уведомление о получении от устройства.

Структура фреймов

Структура фреймов была спроектирована по критерию минимальной сложности, обеспечивающей надёжную передачу данных в зашумлённом канале. В соответствии с моделью OSI каждый нижележащий уровень добавляет к протоколу свой заголовок. Стандарт предусматривает четыре типа фреймов:

- фрейм маячка;
- фрейм данных;
- фрейм уведомления о получении;
- фрейм команд MAC-подуровня.

Фрейм данных (рис. 6) начинается с преамбулы, которая совместно с полем

«Старт» служит для синхронизации данных в приёмнике. Поле «Длина» содержит длину поля MAC-подуровня в 8-битовых байтах (октетах). Поле «Управление» содержит служебную информацию об управлении фреймами, поле «Номер» — порядковый номер данных, поле «Адрес» — адресную информацию, поле «Данные» — N байт передаваемой информации. Завершается фрейм полем контрольной суммы КС.

Сетевой уровень

Особенностью сетей ZigBee является возможность выполнять ретрансляцию передаваемых данных через множество промежуточных узлов в сети, причём при выходе из строя или выключении одного из узлов сеть автоматически находит другой путь для передачи информации. При включении питания устройства сеть заново включает его в свой состав.

Стандарт различает два типа устройств: полнофункциональные устройства (FFD — Full-Function Device) и устройства с сокращённым набором функций (RFD — Reduced-Function Devices). FFD могут работать в сети с древовидной топологией в качестве координатора сети или в качестве устройства. FFD могут обмениваться информацией с другими FFD или RFD, но RFD могут связываться только с FFD. RFD гораздо проще и дешевле, чем FFD. Любая сеть должна содержать, по крайней мере, одно полнофункциональное устройство FFD.

В зависимости от требований конкретного применения сеть на основе

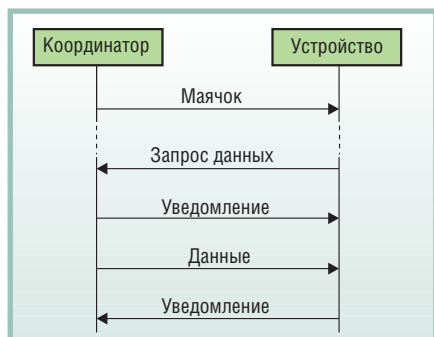


Рис. 5. Процесс передачи данных от координатора к устройству

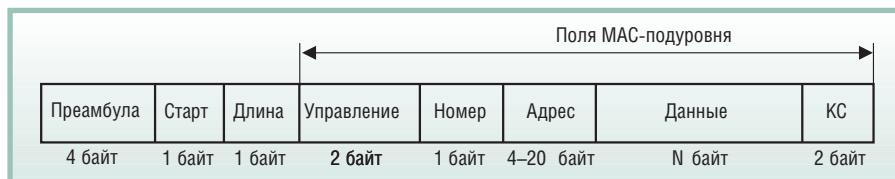


Рис. 6. Формат фрейма данных по стандарту IEEE 802.15.4

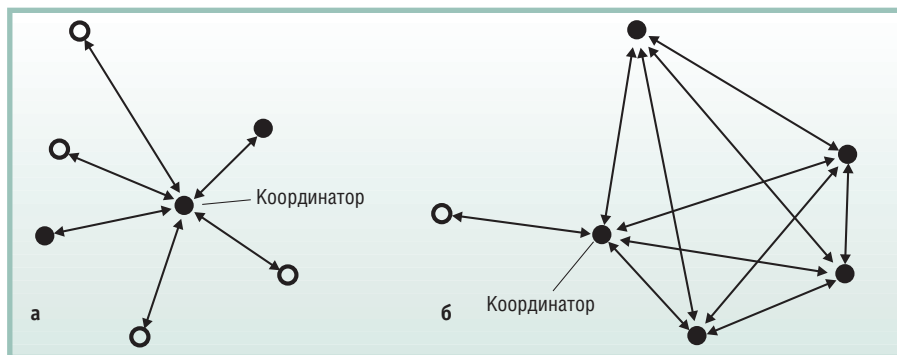


Рис. 7. Звёздная (а) и одноранговая (б) топологии сети (чёрный круг – полнофункциональное устройство FFD, белый круг – устройство с сокращённой функциональностью RFD)

стандарта IEEE 802.15.4 может иметь одну из двух топологий: звёздную, показанную на рис. 7а, или одноранговую («равный с равным»), показанную на рис. 7б.

Все устройства в сети независимо от топологии должны иметь уникальный 64-битовый расширенный адрес. Этот адрес используется для коммуникации в пределах сети или может быть изменён на короткий 16-битовый адрес, выделяемый координатором в процессе подключения устройств к сети. Координатор может быть подключён к сети питания, а остальные сетевые устройства могут иметь батарейное питание.

Одноранговая сеть также имеет координатора, однако она отличается тем, что любое устройство может обмениваться данными с любым другим, если оно находится в зоне досягаемости радиосвязи, в то время как в звёздной топологии любое устройство может взаимодействовать только с координатором. Отметим, что одноранговая сеть получается всегда дороже, поскольку она содержит только полнофункциональные устройства, но благодаря этому она позволяет организовывать сети более сложной топологии, в том числе ячеистые. Большинство промышленных приложений требуют применения одноранговых сетей. К ним относятся управление и мониторинг, сенсорные сети, отслеживание местоположения имущества и товара, «интеллектуальное» сельское хозяйство, системы безопасности. Одноранговые сети могут быть специализированными, самоорганизующимися и самовосстанавливающимися. Они позволяют передавать информацию между узлами сети независимо от расстояния между ними, используя промежуточные узлы в качестве ретрансляторов. Эти функции выполняются уровнем приложений модели OSI.

Несколько сетей могут взаимодействовать друг с другом. Для этого каж-

дая сеть должна иметь уникальный сетевой идентификатор. Благодаря ему внутри сети могут использоваться сокращённые адреса. Поэтому полный адрес устройства для доступа извне (из другой сети) состоит из адреса сети и короткого адреса устройства.

Базовая структура сети звёздной топологии показана на рис. 7а. После первого включения полнофункционального сетевого устройства оно может организовать свою собственную сеть и стать сетевым координатором. Все сети звёздной топологии функционируют независимо одна от другой. Это достигается выбором сетевого идентификатора, который не используется другими сетями, находящимися в пределах радиуса действия данной сети. После выбора се-

тевого идентификатора координатор может принять в состав сети другие устройства, как FFD, так и RFD.

В одноранговой сети (рис. 7б) каждое устройство может взаимодействовать с любым другим устройством, находящимся в пределах его радиуса действия. Одно из устройств назначается координатором, например то, которое первым включено в сеть. При дальнейшем расширении сети можно отойти от одноранговой топологии и создать гибридную топологию, в которой будут содержаться и устройства с сокращённой функциональностью.

Примером применения одноранговой коммуникации между устройствами может быть кластерное дерево (рис. 8). Кластерное дерево является специальным случаем одноранговой сети, в которой большинство устройств являются полнофункциональными. Устройства с сокращённой функциональностью могут быть подключены к кластерному дереву только как конечные узлы на концах ветвей, поскольку они могут быть подключены только к одному полнофункциональному устройству. Одно (любое) из полнофункциональных устройств в сети должно играть роль сетевого координатора и обеспечивать синхронизацию с другими устройствами. Сетевой координатор должен иметь повышенные вычислительные ресурсы.

При формировании сети типа кластерного дерева сетевой координатор назначает себя главой первого кластера (CLuster Head – CLH), присваивает своему кластеру идентификатор 0 (Clus-

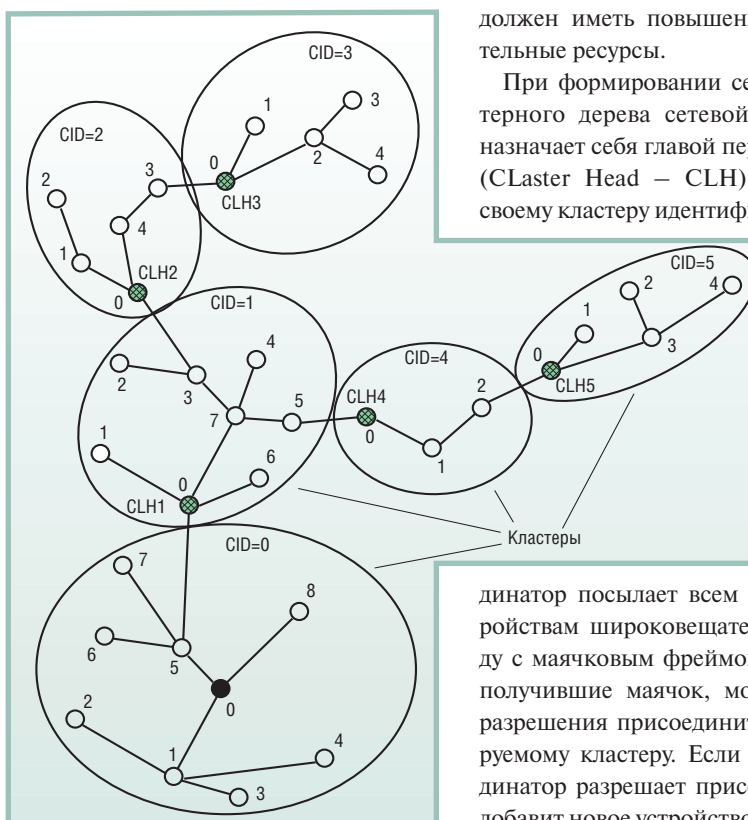


Рис. 8. Пример сети с топологией кластерного дерева (ветви указывают отношения подчинённости, а не каналы связи)

ter Identifier – CID, CID=0) и выбирает идентификатор всего формируемого кластерного дерева. После этого координатор

посылает всем соседним устройствам широковещательную команду с маячковым фреймом. Устройства, получившие маячок, могут запросить разрешения присоединиться к формируемому кластеру. Если сетевой координатор разрешает присоединение, он добавит новое устройство в свой список соседних устройств. Затем вновь присоединившееся устройство добавит CLH в качестве родительского устрой-

ства в список своих соседей и начнёт периодически посылать маячок. Теперь другие устройства могут подсоединиться к нему. Если устройство, желающее подсоединиться к сети, не может найти CLN, оно может подсоединиться к любому другому устройству, которое может быть родительским.

Простейшим частным случаем кластерного дерева является один кластер, однако несколько кластеров могут объединяться, образуя кластерное дерево (рис. 8). Для этого сетевой координатор назначает одно из полнофункциональных устройств главой соседнего кластера и назначает ему номер кластера CID=1. Подробнее процедура формирования кластерного дерева описана в [5] (список литературы полностью приведён в первой части статьи, см. «СТА» № 1 за 2009 год).

Уровень приложений

Уровень приложений связывает стек протоколов с конечным приложением пользователя, например OPC-сервером, который далее используется для обмена данными со SCADA. Подуровень поддержки приложений APS (см. табл. 1 в первой части статьи) обеспечивает интерфейс между сетевым уровнем и уровнем приложений APL посредством общего набора сервисов, которые используются как подуровнем объектов устройств ZDO, так и прикладными объектами Application Objects, определяемыми пользователем. Подуровень APS распределяет между конечными сетевыми устройствами информацию, поставляемую приложением, например команды включения/выключения лампочки в системе автоматизации здания.

Объекты приложений в ZigBee выполняют следующие функции, используя общедоступный интерфейс ZDO:

- контроль и координация разных уровней протокола для ZigBee-устройств;
- инициирование стандартных сетевых функций.

Одним из компонентов ZigBee-сети является ZigBee-устройство. Примером может быть выключатель света, термостат или удалённая система автоматического управления, которые имеют доступ к радиоканалу. В одном и том же устройстве с одним радиоканалом могут быть воплощены логически различные функции, например функция измерения веса и функция измерения температуры.

Несколько взаимодействующих устройств могут образовывать автоматизированную систему управления, например АСУ «Умный дом». В такой системе подуровень APS модели OSI (табл. 1) обеспечивает распределение информации, поставляемой пользовательским приложением, между устройствами. Такой информацией могут быть, например, команды «Включить свет», посылаемые от приложения разным устройствам по радиоканалу.

Уровень поддержки приложений APS для реализации своих функций использует коммуникационные структуры: профили, кластеры и конечные точки. Профиль описывает коллекцию (набор) устройств, используемых для некоторого приложения, и неявно — схему сообщений между этими устройствами. Например, в ZigBee имеются профили для системы домашней автоматизации и профили для коммерческих, промышленных и учреждений систем. Все профили используют стандартные типы сообщений, форматы сообщений и процедуры их обработки.

В рамках профилей устройства обмениваются между собой с помощью *кластеров*, которые могут исходить или входить в устройство. Кластер — это сообщение или коллекция сообщений, в состав которых могут входить команды и ответы на них. Например, в профиле для домашней автоматизации имеется специализированный кластер для управления освещением. В его состав могут входить команды «Включить/Выключить». В состав кластера может входить набор команд для конфигурирования устройства. Каждый кластер имеет свой идентификатор и является уникальным только в пределах определённого профиля.

Конечная точка указывает объект в пределах устройства, с которым взаимодействует приложение. Например, конечная точка EP1 (EP — End Point) может предназначаться для управления светом в цехе и коридоре (рис. 9), конечная точка EP7 — для управления системой вентиляции и кондиционирования, конечная точка 1 второго устройства — для управления системой охраны здания. Конечные точки выполняют функцию адресации и позволяют определить, какому устройству пред-

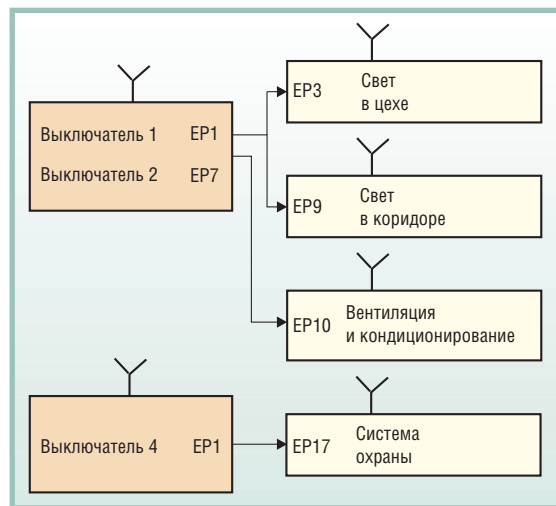


Рис. 9. Пример связывания конечных точек в ZigBee-сети

назначено посланное сообщение. В пределах одного устройства они имеют индексы от 1 до 240. Без конечных точек управлять несколькими объектами в пределах одного устройства было бы невозможно, поскольку адресуемым является только устройство, а конечные точки — это субадреса с номерами от 1 до 240.

Связи между конечными точками хранятся в виде таблицы связей, которая запоминается в устройстве, от которого исходят команды управления, если устройство имеет достаточную для этого ёмкость памяти. Таблица связей может также храниться во вспомогательном устройстве.

Стремясь обеспечить совместимость (точнее, интероперабельность) устройств разных производителей в ZigBee-системе, стандарт предлагает стандартные профили, которые содержат стандартные наборы кластеров. В случае когда стандартные профили не удовлетворяют потребностям системного интегратора, он может создать свой пользовательский профиль, включая определения кластеров.

Wi-Fi и IEEE 802.11

Основное назначение технологии Wi-Fi (Wireless Fidelity — «беспроводная точность») — беспроводное расширение сетей Ethernet. Она используется также там, где использовать проводные сети нежелательно или невозможно (см. начало статьи), например для передачи информации от движущихся частей механизмов, либо при действующем запрете сверлить стены для прокладки проводов (помещения с уже реализованным дизайном, памятники архитектуры и т.д.), либо на большом складе, где компьютер нужно носить с собой.

Таблица 2

Уровни модели OSI для Wi-Fi/IEEE 802.11

Номер уровня	Модель OSI	Сеть	Функции
7	Прикладной	—	—
6	Уровень представления	—	—
5	Сеансовый	—	—
4	Транспортный	—	—
3	Сетевой	—	—
2	Канальный (передачи данных)	Подуровень LLC Подуровень MAC	—
1	Физический	Подуровень PLCP Подуровень PMD	Беспроводная передача, оценка состояния эфира

Wi-Fi разработан консорциумом *Wi-Fi* (www.wi-fi.org) на базе серии стандартов IEEE 802.11 (1997 год) [7] и обеспечивает скорость передачи от 1-2 до 54 Мбит/с. Консорциум Wi-Fi разрабатывает прикладные спецификации для воплощения стандарта Wi-Fi в жизнь, выполняет тестирование и сертификацию продукции других фирм на соответствие стандарту, организует выставки, обеспечивает необходимой информацией разработчиков оборудования Wi-Fi.

Несмотря на то что стандарт IEEE 802.11 был ратифицирован ещё в 1997 году, сети Wi-Fi получили широкое распространение только в последние годы, когда существенно понизились цены на серийное сетевое оборудование. В промышленной автоматизации из множества стандартов серии 802.11 используются в основном два: 802.11b со скоростью передачи до 11 Мбит/с и 802.11g (до 54 Мбит/с).

Физический и канальный уровень

Модель OSI для стандартов Wi-Fi и IEEE 802.11 показана в табл. 2. Основное назначение физических уровней — обеспечение интерфейса с беспровод-

ной средой передачи (с эфиром), а также оценка состояния эфира и взаимодействие с подуровнем MAC.

Физический уровень состоит из двух подуровней: PLCP и PMD.

- PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) выполняет процедуру отображения PDU (Protocol Data Unit — модуль данных протокола) подуровня MAC во фрейм формата FHSS или DSSS. Эта процедура выполняет передачу, обнаружение несущей и приём сигнала.
- PMD (Physical Medium Dependent) — подуровень, зависящий от

среды передачи данных. Этот подуровень будет различным для разных скоростей передачи и разных стандартов из серии 802.11. Подуровень PMD обеспечивает данные и сервис для подуровня PLCP и функции радиопередачи и приёма, результатами которых являются поток данных, информация о времени, параметры приёма.

Основным рабочим состоянием PLCP является обнаружение несущей и оценка занятости канала. Для выполнения передачи PLCP переключает PMD из режима «Приём» в режим «Пе-



**22-24
сентября**

**Москва,
Экспоцентр,
павильон 3**

**Организатор:
Экспотроника**

Москва:
Тел.: (495) 234-22-10
E-mail: info@pta-expo.ru

IX Международная специализированная выставка Передовые Технологии Автоматизации ПТА-2009

Тематика выставки:

- Автоматизация промышленного предприятия
- Автоматизация технологических процессов
- Бортовые и встраиваемые системы
- Системная интеграция и консалтинг
- Автоматизация зданий

Официальная поддержка:



Информационная поддержка:



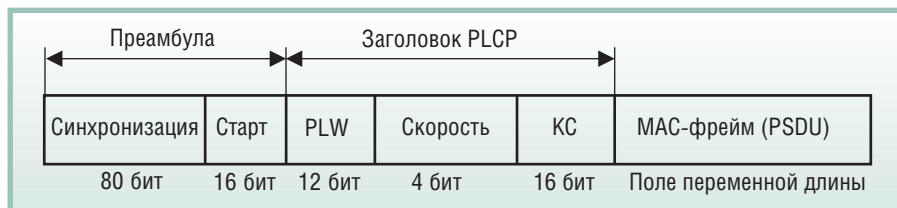


Рис. 10. Формат фрейма PLCP для режима FHSS

редачу» и посылает элемент данных PPDU (PLCP Protocol Data Unit).

Физический уровень выполняет скремблирование, кодирование и чередование [1].

Передача сигналов по радиоканалу выполняется двумя методами: FHSS и DSSS. При этом используется дифференциальная фазовая модуляция DBPSK или DQPSK (см. подраздел «Методы модуляции несущей») с применением кодов Баркера, комплементарных кодов (Complementary Code Keying – CCK) и технологии двоичного пакетного свёрточного кодирования (Packet Binary Convolutional Coding – PBCC) [15].

Wi-Fi 802.11g на скорости 1-2 Мбит/с использует модуляцию DBPSK. При скорости передачи 2 Мбит/с применяется тот же метод, что и при скорости 1 Мбит/с, однако для увеличения пропускной способности канала используются 4 разных значения фазы (0 , $\pi/2$, $3\pi/4$, π) для фазовой модуляции несущей.

Протокол 802.11b использует дополнительно скорости передачи 5,5 и 11 Мбит/с. На этих скоростях передачи вместо кодов Баркера применяются комплементарные коды CCK.

Wi-Fi использует метод доступа к сети CSMA/CA, в котором для снижения вероятности коллизий приняты следующие принципы:

- прежде чем станция начнёт передачу, она сообщает, как долго она будет занимать канал связи;
- следующая станция не может начать передачу, пока не истечёт зарезервированное ранее время;
- участники сети не знают, приняли ли их сигнал, пока не получат подтверждение об этом;
- если две станции начали работать одновременно, они смогут узнать

об этом только по тому факту, что не получают подтверждение о приёме;

- если подтверждение не получено, участники сети выжидают случайный промежуток времени, чтобы начать повторную передачу.

Предотвращение, а не обнаружение коллизий является основным в беспроводных сетях, поскольку в них, в отличие от проводных сетей, передатчик трансивера заглушает принимаемый сигнал.

Формат фрейма на подуровне PLCP модели OSI (табл. 2) для режима FHSS показан на рис. 10. Он состоит из нескольких полей.

- «Синхронизация» содержит чередующиеся нули и единицы. Служит для подстройки частоты на принимающей станции. Синхронизирует распределение пакетов и позволяет выбрать антенну (при наличии нескольких антенн).
- «Старт» – флаг начала фрейма. Состоит из строки 0000 1100 1011 1101, которая служит для синхронизации фреймов на принимающей станции.
- «PLW» (PSDU Length Word, где PSDU – PLCP Service Data Unit) – слово длины служебного элемента данных подуровня PLCP. Указывает размер фрейма (в октетах), поступившего с подуровня MAC.
- «Скорость» указывает скорость передачи данных фрейма.
- «KC» – контрольная сумма.
- «MAC-фрейм» – фрейм, поступивший с подуровня MAC модели OSI и содержащий PSDU.
- «Заголовок PLCP» – поля, добавленные на подуровне PLCP.

Формат фрейма на подуровне PLCP модели OSI (табл. 2) для режима DSSS

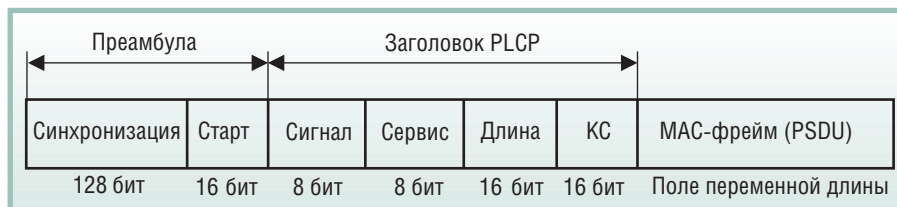


Рис. 11. Формат фрейма PLCP для режима DSSS

показан на рис. 11. В нём поля имеют следующий смысл:

- «Синхронизация» содержит только единицы и обеспечивает синхронизацию в приёмной станции;
- «Старт» – флаг начала фрейма, содержит строку 0xF3A0, которая указывает начало передачи параметров, зависящих от физического уровня;
- «Сигнал» указывает тип модуляции и скорость передачи данного фрейма;
- «Сервис» зарезервировано для будущих модификаций стандарта;
- «Длина» указывает время в микросекундах, необходимое для передачи MAC-фрейма;
- «KC» – контрольная сумма;
- «MAC-фрейм» – фрейм, поступивший с подуровня MAC модели OSI и содержащий PSDU;
- «Заголовок PLCP» – поля, добавленные на подуровне PLCP.

Дальность связи средствами Wi-Fi сильно зависит от условий распространения электромагнитных волн, типа антенны и мощности передатчика. Типовые значения, указываемые изготовителями Wi-Fi-оборудования, составляют 100-200 м в помещении и до нескольких километров на открытой местности с применением внешней антенны и при мощности передатчика 50...100 мВт. Вместе с тем, по сообщению германского еженедельника Computerwoche, во время соревнований по дальности связи была зафиксирована связь на расстоянии 89 км с применением оборудования Wi-Fi стандарта IEEE 802.11b (2,4 ГГц) и спутниковых антенн («тарелок»). В книге рекордов Гиннеса зафиксирована также Wi-Fi-связь на расстоянии 310 км с применением антенн, поднятых на большую высоту с помощью воздушных шаров.

Архитектура сети Wi-Fi

Стандарт IEEE 802.11 устанавливает три варианта топологии сетей:

- независимые базовые зоны обслуживания (Independent Basic Service Sets – IBSS);
- базовые зоны обслуживания (Basic Service Sets – BSS);
- расширенные зоны обслуживания (Extended Service Sets – ESS).

Под зоной обслуживания здесь понимается набор логически сгруппированных устройств. Каждая зона обслуживания имеет свой идентификатор (Service Set Identifier – SSID). Станция-

Таблица 3

Сравнение трёх ведущих беспроводных технологий

Характеристика	Bluetooth/ IEEE 802.15.1	ZigBee/IEEE 802.15.4	Wi-Fi/IEEE 802.11
Дальность	~10 (50–100) м	10 м	~100 м
Скорость передачи	723 кбит/с	250 кбит/с	1...2 Мбит/с, до 54 Мбит/с
Максимальное количество участников сети	8	245	Не ограничено
Потребляемая мощность	10 мВт	1 мВт	50 мВт
Продолжительность работы от двух батарей размера AA	—	6 месяцев в режиме ожидания	—
Цена/сложность (условные единицы)	10	1	20
Повторная передача	Есть	Есть	DCF – нет; PCF – есть*
Основное назначение	Связь периферии с компьютером	Беспроводные сети датчиков	Беспроводное расширение Ethernet

* PCF (Point Coordination Function) – функция координации точки доступа – один из режимов работы сети, используется в случае сети без коллизий.

DCF (Distributed Coordination Function) – функция распределённой координации – один из режимов работы сети, используется для обслуживания коллизий и базируется на PCF.

приёмник использует SSID для определения того, из какой зоны обслуживания приходит сигнал.

В архитектуре IBSS станции связываются непосредственно одна с другой, без использования точки доступа и без возможности подсоединения к проводной локальной сети. Зона обслуживания IBSS используется обычно для объ-

единения в сеть малого количества станций, поскольку в ней не предусмотрены возможность ретрансляции сигнала для увеличения дальности связи и механизмы для решения проблемы скрытого узла (см. рис. 3 в первой части статьи).

При использовании BSS станции общаются друг с другом через общий

центральный узел связи, называемый *точкой доступа*. Точка доступа обычно подключается к проводной локальной сети Ethernet.

Расширенная зона обслуживания получается при объединении нескольких BSS в единую систему посредством распределительной системы, в качестве которой может выступать проводная сеть Ethernet.

СРАВНЕНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

В табл. 3 сведены основные параметры трёх рассмотренных беспроводных технологий. В таблице отсутствуют данные о стандартах WiMAX, EDGE, UWB и многих других, которые не нашли широкого применения в промышленной автоматизации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Беспроводные сети, несмотря на свою привлекательность, имеют очень большое количество трудноразрешимых проблем, поэтому их применение в промышленной автоматизации должно основываться на детальном анализе задачи и тщательной оценке всех преимуществ в каждом конкретном случае.

1-7 июня 2009 г. Москва, ИПУ РАН

Мультиконференция по информационным технологиям и управлению в промышленности

Международная научная конференция "Автоматизация в промышленности"

Международный симпозиум Information Control Problems in Manufacturing – INCOM'09

Семинар для руководителей промышленных предприятий и бизнеса

Организаторы:
ИПУ им. В. А. Трапезникова РАН, НОУ УНИТУ



Организатор и генеральный информационный партнер:

АВТОМАТИЗАЦИЯ
в промышленности

Генеральный спонсор:

Honeywell

Генеральный деловой партнер:

Экспотромтех

33-й международный семинар-презентация и выставка

1-5 июня 2009 г.

"Автоматизация. Программно-технические средства. Системы. Применения"

Тематика семинара

Общие вопросы промышленной автоматизации: обзоры рынка промышленной автоматизации по направлениям: SCADA-системы, контроллеры, современные алгоритмы управления, датчики. Вопросы стандартизации, метрологии и нормативно-правовой базы.

Инновационные разработки в области автоматизации: программное обеспечение, контроллеры, датчики, модули ввода/вывода, инновационные методы измерения физических величин и т.д.

О новых проектах: представление последних реализованных проектов в различных отраслях промышленности с акцентом на их экономической эффективности и выборе средств и систем автоматизации.

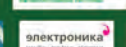
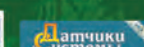
Круглый стол "Болевые точки автоматизации предприятий".

На выставке: средства и системы автоматизации, специализированная научно-техническая и справочная литература.

Участие в семинаре-презентации для слушателей – бесплатное. Регистрация обязательная.

Участники семинара-презентации приглашаются на все мероприятия деловой и культурной программы Мультиконференции.

Информационная поддержка:



www.asutp.ru

Оргкомитет: тел.: (495) 334-91-30, 334-87-59, тел./факс: 334-93-40, 334-87-59.

E-mail: nikfone@spm.ipu.ru info@avtprom.ru

<http://www.avtprom.ru> <http://incom09.org>