ЭР-15-15 Хвостова Ю. А.

**Контрольная работа №2**

Вариант 3: комплексные навигационно-связные системы стандарта IEEE 802.15.4 (UWB), назначение, архитектура, типы сигналов, основные характеристики;

**IEEE 802.15.4** — стандарт, который определяет физический слой и управление доступом к среде для беспроводных персональных сетей с низким уровнем скорости. Стандарт поддерживается рабочей группой [IEEE 802.15](https://ru.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15). Аппаратура, построенная на базе данного стандарта, относится к устройствам малого радиуса действия.

Цель стандарта IEEE 802.15 — предложить нижние слои основания сети для сетей типа беспроводных персональных сетей, ориентированных на низкую стоимость, низкую скорость повсеместной связи между устройствами (по контрасту с многими более конечно-ориентированных на пользователя сетями, как например [Wi-Fi](https://ru.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi" \o "Wi-Fi)). Акцент делается на очень низкой стоимости связи с ближайшими устройствами, совсем без (или с небольшой) базовой структурой, с целью эксплуатации на доселе небывалом низком уровне энергии.

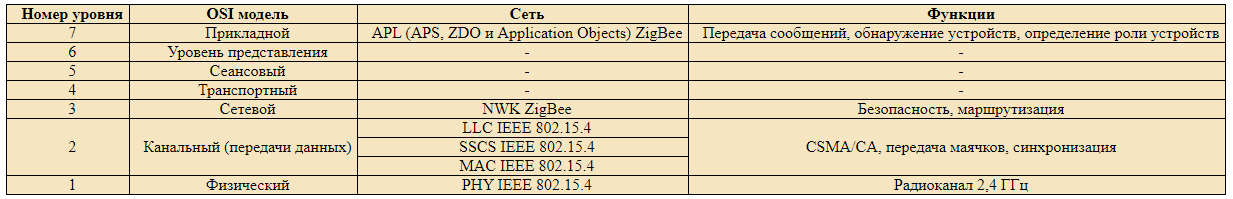
На его основе ZigBee Alliance разработал спецификацию протоколов сетевого и прикладного уровня, которые анонсировал в декабре 2004 года под названием "ZigBee" [[ZigBee](https://bookasutp.ru/References.aspx" \l "153)]. ZigBee, как и Bluetooth, использует нелицензируемый диапазон 2,4 ГГц. Стандарт предусматривает также использование частот 868 МГц в Европе и 915 МГц в США. Максимальная скорость передачи составляет 250 кбит/с в диапазоне 2,4 ГГц. Диапазон 2,4 ГГц разделен на 11...26 каналов шириной по 5 МГц каждый.

Несмотря на то, что вся идеология стандарта IEEE 802.15.4 построена в предположении, что типовая связь будет осуществляться на расстоянии около 10 м, стандарт не устанавливает требований к мощности передатчика. Этот параметр регулируется нормативными документами в области радиосвязи, специфическими для каждого государства. Наибольшее распространение на рынке имеют передатчики с мощностью 1 мВт, которые обеспечивают связь на расстоянии до 10 м в помещении, а также передатчики с мощностью 10 мВт, увеличивающие это расстояние до 80 м в помещении и до 1 км в условиях прямой видимости. Дальность связи можно увеличить применением антенн специальной конструкции.

В ZigBee имеются три типа устройств:

* координатор - формирует топологию сети и может устанавливать мосты в с другими сетями. В каждой ZigBee сети имеется только один координатор;
* маршрутизатор - работает как промежуточное звено, передавая в нужном направлении данные от других устройств;
* конечное устройство - передает данные координатору или маршрутизатору  и не может связываться с аналогичными ему устройствами.

Модель OSI сети ZigBee представлена в таблице. Она включает в себя физический уровень (PHY), канальный уровень, состоящий из подуровня доступа к среде передачи MAC и LLC, которые определяются стандартом IEEE 802.15.4, а также сетевой уровень NWK (NetWorK) и уровень приложений APL, состоящий из подуровня поддержки приложений (APplication Support sub-layer  - APS), подуровня объектов устройств ZigBee (ZigBee Device Object - ZDO) и объектов Application Objects, определяемых изготовителем ZigBee-устройств.



Подуровень MAC управляет доступом к радиоканалу, используя метод CSMA/CA. Он также отвечает за передачу маячковых фреймов, синхронизацию и обеспечение надежных методов передачи информации. Подуровень SSCS (Service Specific Convergence Sublayer - "подуровень сближения специфических сервисов") выполняет роль интерфейса между подуровнями LLC и MAC. Подуровень LLC  выполняет связь сетевого уровня с уровнем MAC.

Физический уровень модели OSI обеспечивает интерфейс между стеком протоколов и средой передачи информации (эфиром). Физический (PHY) и канальный (MAC) уровни модели OSI определены в стандарте IEEE 802.15.4. Они имеют следующие основные характеристики:

* скорость передачи: 250 кбит/с;
* короткий 16-битный адрес или расширенный длиной 64-бита;
* выделение интервала времени для передачи информации каждый узлом;
* метод доступа к каналу типа CSMA/ CA;
* протокол обмена с уведомлением о получении;
* малое потребление мощности;
* контроль уровня энергии;
* наличие индикатора качества связи;
* 16 каналов в диапазоне 2,45 ГГц.

Стандарт IEEE 802.15.4 использует модуляцию типа OQPSK - "Offset-Quadrature Phase-Shift Keying" - "смещенная квадратурная фазовая манипуляция".

Основным назначением физического уровня является прием и передача данных через радиоканал. Здесь также измеряется мощность радиосигнала, оценивается качество связи и чистота канала, осуществляется выбор канала.

Подуровень MAC управляет маячком, доступом к каналу, выделяет гарантированные слоты времени, проверяет достоверность передачи фреймов, передает фрейм подтверждения о получении, выполняет часть работы по обеспечению защиты информации.

Стандарт допускает опциональное использование суперфреймовой структуры сообщений ([рис. 1](https://bookasutp.ru/Chapter2_11_2.aspx#%D1%80%D0%B8%D1%81.%202.38)). Формат суперфрейма определяется сетевым координатором. Суперфрейм с двух сторон ограничивается маячками, делится на 16 равных по длине слотов и посылается сетевым координатором. Маячок помещается на место первого слота каждого суперфрейма. Координатор может отключить режим сообщений с маячками. Маячки используются для синхронизации присоединенных устройств, для идентификации сети и для описания структуры суперфрейма. Любые устройства, желающие начать процесс коммуникации в промежуток времени между двумя маячками, должны использовать слотовыймеханизм доступа CSMA/CA. Передача сообщений должна быть закончена до прихода следующего маячка.

|  |
| --- |
| https://bookasutp.ru/Chapter2.files/image121.gif |
| Рис.1. Структура суперфрейма с гарантированными временными слотами |

IEEE 802.15.4 устанавливает два механизма доступа к каналу CSMA/CA, в зависимости от типа конфигурации сети. В сети без маячков используется обычный (бесслотовый) механизм доступа CSMA/CA. Каждый раз, когда устройство собирается начать передачу, оно должно выдержать паузу случайной величиныпосле того, как канал освободится. Случайная задержка нужна потому, что очень вероятно, что многие устройства сети ждут освобождения канала и поэтому после его освобождения могут начать передачу одновременно. Если канал занят, то устройство может повторить попытку после повторной случайной задержки. Фреймы подтверждения о получении посылаются сразу, без использования описанного алгоритма.

В сети с маячками используется слотовый (тактированный) механизм доступа CSMA/CA, в котором начало временного слота должно совпадать с границей суперфрейма сетевого координатора, т.е. начало слота для каждого устройства должно быть синхронизировано с началом передачи маячка сетевым координатором. Поскольку устройство не может начать передачу, пока не найдет маячок, а маячки рассылаются только сетевым координатором, то сетевой координатор с помощью маячков выполняет тактирование актов обмена во всей сети. При этом PHY уровень должен обеспечить, чтобы все передачи в сети начинались одновременно с началом слотов. Введение описанной синхронизации позволяет уменьшить вероятность одновременной передачи сообщений несколькими узлами сети.

Для устройств, которые требуют срочной доставки или большой пропускной способности канала, сетевой координатор может зарезервировать часть суперфрейма, в котором будет отсутствовать конкуренция за канал (как это показано на рис. 1), поскольку в это время сетевой координатор запрещает любую передачу всем другим устройствам. Эта часть слотов суперфрейма называется гарантированными временными слотами (Guaranteed Time Slots - GTSs)

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.

Когда устройство собирается передать данные координатору в сети с маячками, оно сначала пытается обнаружить маячок. Когда маячок найден, устройство подстраивается к структуре суперфрейма. Устройство передает данные координатору, используя слотовый механизм CSMA/ CA. В ответ координатор отсылает фрейм уведомления о получении. На этом цикл обмена заканчивается. Если устройство собирается передать данные в сети без маячков, оно передает данные, используя бесслотовый метод CSMA/CA.

|  |
| --- |
| https://bookasutp.ru/Chapter2.files/image122.gif |
| Рис. 2. Процесс передачи данных от координатора к устройству |

Когда координатор желает передать дынные устройству в сети с маячками, он помещает в маячок информацию о том, что имеются данные, готовые к передаче ([рис. 2](https://bookasutp.ru/Chapter2_11_2.aspx#%D1%80%D0%B8%D1%81.%202.39)). Устройство периодически анализирует содержание маячка и, если в нем имеется информация о наличии сообщения, готового к передаче, устройство передает команду запроса данных, используя слотовый метод CSMA/ CA. Координатор подтверждает прием запроса данных с помощью фрейма уведомления. Вслед за этим координатор отсылает данные, используя слотовый метод доступа CSMA/CA. Устройство подтверждает прием данных отправкой уведомления.

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

Структура фреймов была спроектирована по критерию минимальной сложности, обеспечивающей надежную передачу данных в зашумленном 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

|  |
| --- |
| https://bookasutp.ru/Chapter2.files/image123.gif |
| Рис. 3. Формат фрейма данных по стандарту IEEE 802.15.4 |

Фрейм данных (рис. 3) начинается с преамбулы, которая совместно с полем "Старт" служит для синхронизации данных в приемнике, поле "Длина" содержит длину поля MAC подуровня в 8-битовых байтах (октетах). Поле "Управление" содержит служебную информацию об управлении фреймами, поле "Номер" содержит порядковый номер данных, поле "Адрес" содержит адресную информацию, в том числе 16-битный короткий или 64-битный расширенный адрес. Завершается фрейм полем контрольной суммы КС.

Несколько взаимодействующих устройств могут образовывать автоматизированную систему управления, например, АСУ "Умный дом". В такой системе подуровень APS модели OSI обеспечивает распределение информации, поставляемой пользовательским приложением, между устройствами. Такой информацией могут быть, например, команды "Включить свет", посылаемые от приложения разным устройствам по радиоканалу. Пример показан на рисунке ниже.

