

Стек протоколов ZigBee/802.15.4 на платформе Freescale Semiconductor

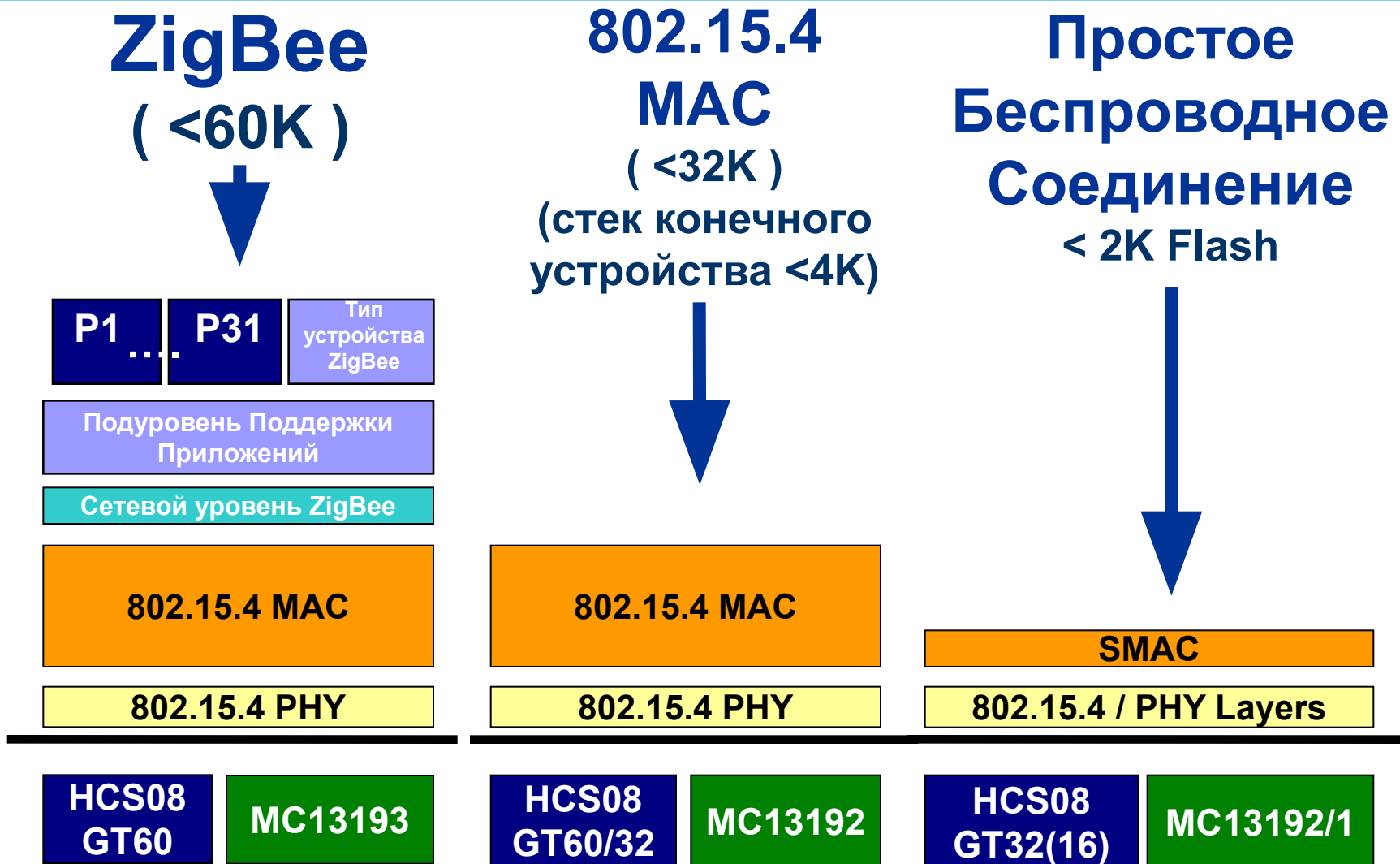
Беспроводные решения стандарта
ZigBee/802.15.4 фирмы Freescale Semiconductor

1 декабря 2004

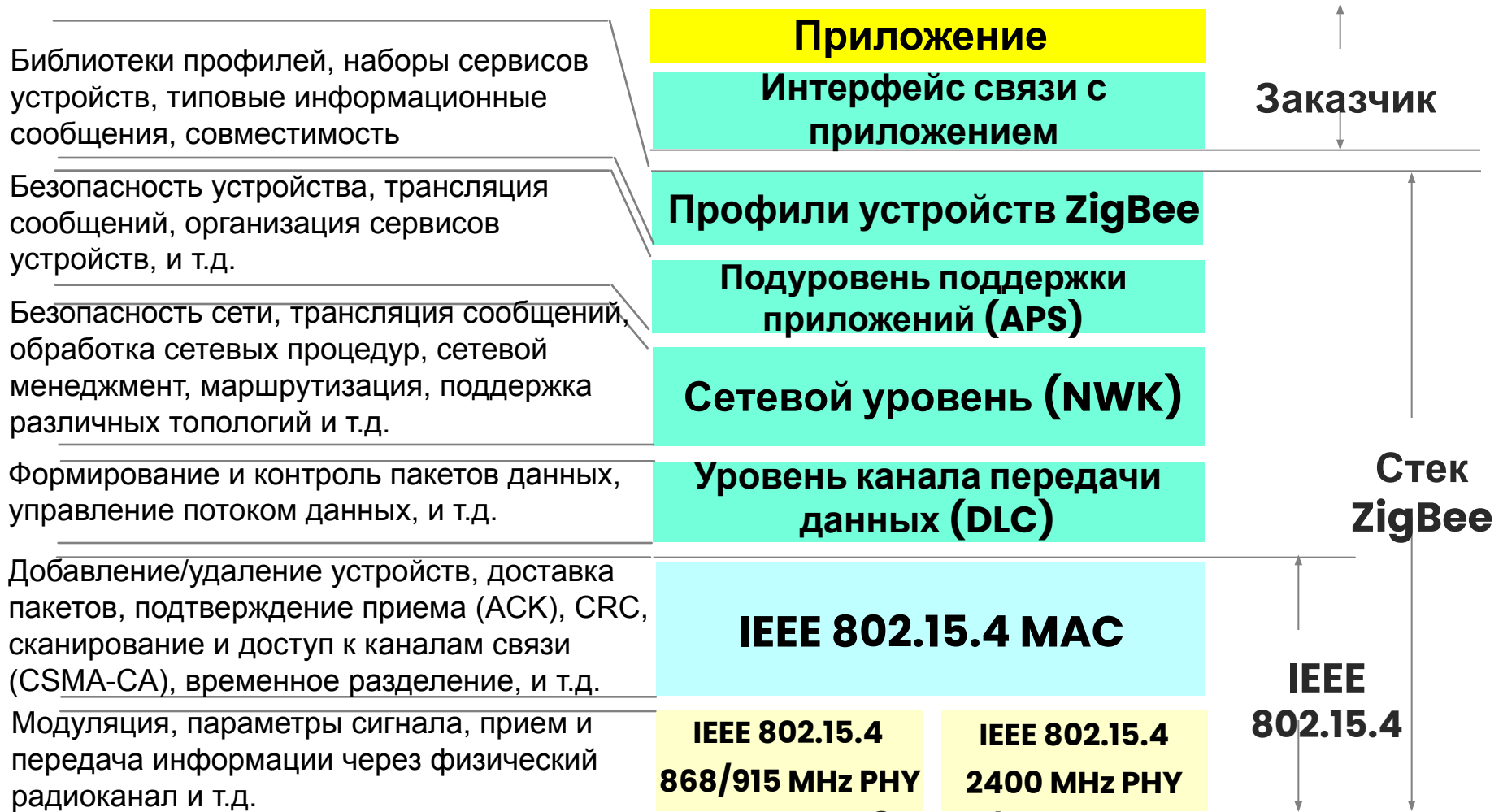
Freescale™ and the Freescale logo are trademarks of Freescale Semiconductor, Inc.
All other product or service names are the property of their respective owners. © Freescale Semiconductor, Inc. 2004



Реализация беспроводных соединений ZigBee/802.15.4 на базе платформы Freescale Semiconductor




Конфигурация стека протокола ZigBee



 Приложение

 Спецификация Альянса ZigBee

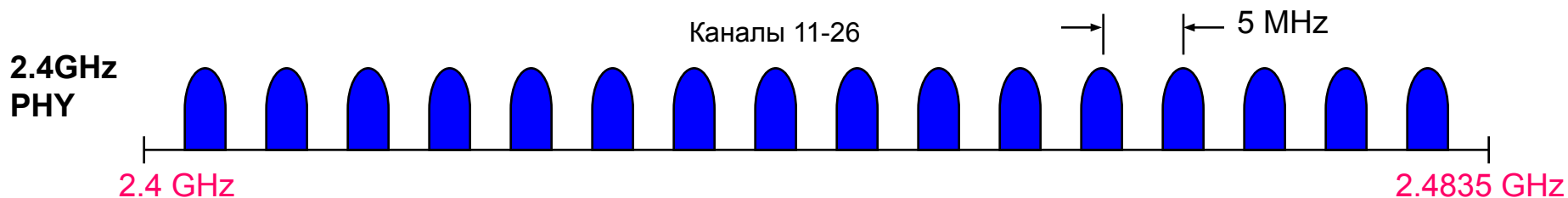
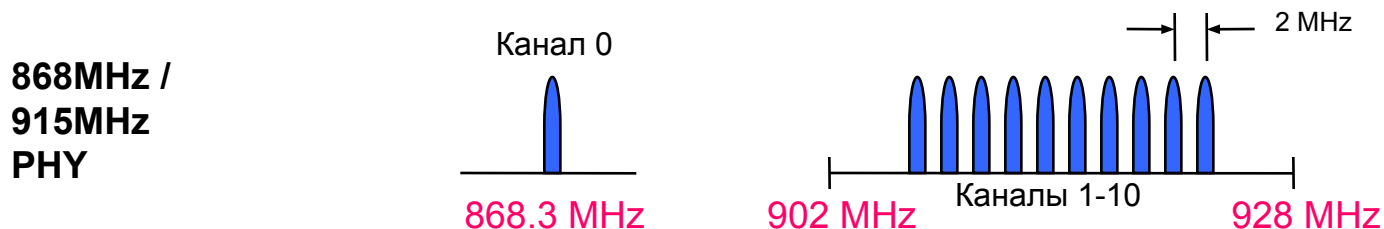
 Спецификация IEEE 802.15.4

 Silicon IEEE 802.15.4

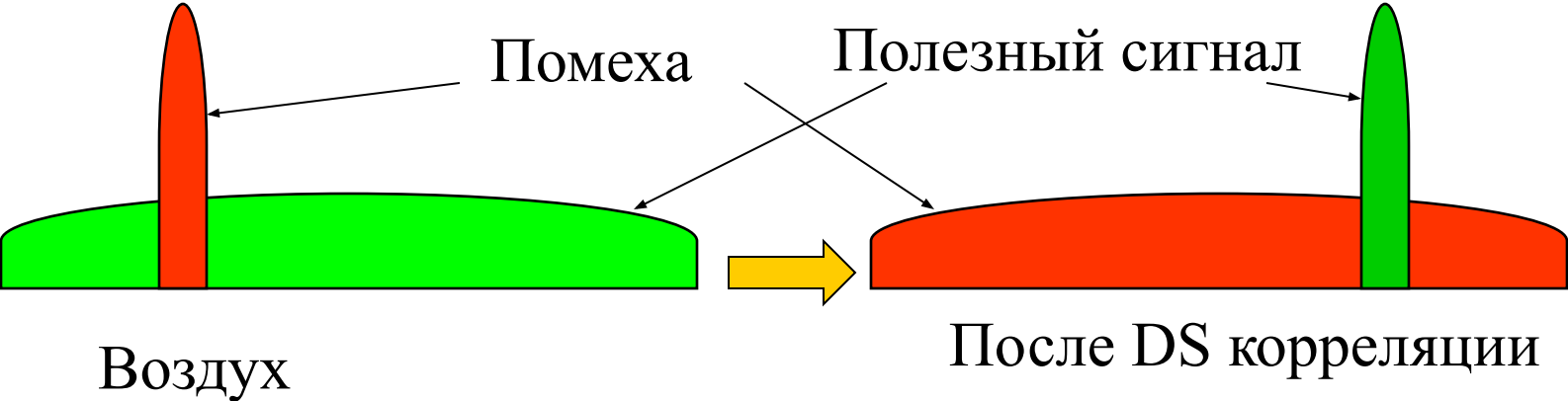
Стандарт IEEE 802.15.4

Частотные диапазоны и скорости передачи стандарта IEEE 802.15.4

<u>Диапазон</u>	<u>География использования</u>	<u>Скорость</u>	<u># Каналов</u>	<u>Модуляция</u>
2.4 GHz	Весь мир	250 kbps	16	O-QPSK
868 MHz	Европа	20 kbps	1	BPSK
915 MHz	Америка	40 kbps	10	BPSK

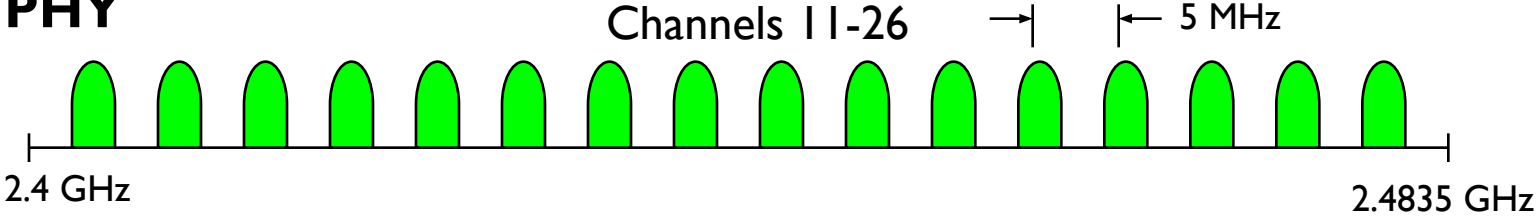


Расширение спектра сигнала методом прямой последовательности



2.4 GHz

PHY



Основы стандарта IEEE 802.15.4

Стандарт 802.15.4 – простой протокол пакетной передачи данных в беспроводных сетях малой емкости

- Доступ к каналу – через протокол множественного доступа с контролем несущей и с исключением коллизий (CSMA-CA), и с дополнительным временным разделением
- Подтверждения приема/передачи пакета данных и дополнительный режим периодического опроса сети, повторение пересылок в случае отсутствия АСК, буферирование сообщений координатором для устройств в спящем режиме
- Многоуровневая система безопасности
- Три частотных диапазона, 27 выделенных каналов
 - **2.4 GHz: 16 каналов, 250 kbps, квадратичная фазовая манипуляция QPSK**
 - **868.3 MHz: 1 канал, 20 kbps, двоичная фазовая манипуляция BPSK**
 - **902-928 MHz: 10 каналов, 40 kbps, двоичная фазовая манипуляция BPSK**
- Специально ориентирован на:
 - **Обеспечение длительного срока работы батареи, работы устройств на основе МК, датчиков, систем удаленного мониторинга и портативной электроники с настраиваемым периодом переходов в ждущий режим**

Некоторые особенности IEEE 802.15.4 MAC

Использование 64-бит IEEE & 16-бит коротких адресов

- Максимальный размер сети теоретически может составлять 2^{64} устройств (количество большее, чем, возможно, необходимо)
- Используя 16-бит укороченную локальную адресацию, могут быть построены простые сети с более чем 65,000 (2^{16}) устройств

Определены три типа устройств

- Сетевой Координатор
- Устройство в Полном Наборе Функций (FFD)
- Устройство с Ограниченным Набором Функций (RFD)

Упрощенная структура пакетов данных

Вхождение в сеть/Выход из сети устройств

AES-128 кодирование

Дополнительная структура синхронизации сети с помощью сигнальных посылок от координатора

Slide 8

Freescale™ and the Freescale logo are trademarks of Freescale Semiconductor, Inc.
All other product or service names are the property of their respective owners. © Freescale Semiconductor, Inc. 2004



Пакетный обмен или потоковая передача

Пакетный режим

- Используются внутренние буферы микросхемы MC1319x
 - Два Tx буфера (128 байт)
 - Один Rx буфер (128 байт)
- Не требуется взаимодействия с МК во время Rx/Tx

Потоковый режим

- Используется только 2-байтный буфер
 - Необходимо прерывание МК каждые 64us во время Rx/Tx для определения пакета подтверждения передачи и приема/пересылки слова данных
- Программная обработка последовательности данных (контрольной суммы)
- Скорость обмена по SPI синхронизирована со скоростью передачи пакета данных

Типы устройств стандарта IEEE 802.15.4

Три типа устройств

- **Сетевой координатор (FFD - Full Function Device)**

- Осуществляет глобальную координацию, организацию и установку параметров сети, выбор RF канала и уникального сетевого ID
- наиболее сложный из трех типов устройств; наибольший объем памяти и потребление энергии

- **Устройство с полным набором функций (FFD - Full Function Device)**

- Поддерживает все функции и параметры стандарта 802.15.4
- Дополнительная память и возросшее энергопотребление позволяют выполнять функции маршрутизатора
- Поддержка любой топологии
- Способно выполнять роль координатора сети
- Способен обращаться к любым другим устройствам в сети

- **Устройство с ограниченным набором функций (RFD - Reduced Function Device)**

- Поддерживает ограниченный согласно стандарту набор функций для обеспечения наилучшего баланса цены, сложности и функциональности
- В основном используется в сетевых конечных устройствах
- Только топологии типа «Точка-точка» и «Звезда»

Множественный доступ или синхронизированный доступ

Стандартный доступ

- Стандартный множественный доступ используется в сетях со связями точка-точка и точка-много точек
- Работает по принципу двухстороннего радиообмена, где каждое устройство автономно и может инициировать передачу в любой момент, однако вероятны непреднамеренные коллизии с другими устройствами сети
- Стандартный протокол связи CSMA-CA, устройства активны только в моменты передачи информации, передача подтверждения в случае успешного приема пакета данных
- Однако, адресат может не «услышать» устройство, или канал будет уже занят другими устройствами

Синхронизированный доступ

- Достаточно мощный механизм для оптимизации и контроля энергопотребления в расширенных сетях, таких как кластерное дерево или многоячейковая сеть
- Позволяет устройствам внутри локальной сетевой ячейки знать, когда, в какой момент времени осуществлять обмен данными
- Здесь, двухсторонний радиообмен управляется диспетчером, который выделяет каналы и осуществляет «звонки»



Передача данных к координатору

Синхронизированный доступ

- Устройство ожидает сигнальный пакет
- Устройство синхронизируется с сетью
- Устройство передает пакет данных в определенный временной интервал согласно протоколу CSMA-CA
- Координатор передает подтверждение приема данных

Стандартный доступ

- Устройство передает пакет по мере появления данных согласно протоколу CSMA CA
- Координатор передает подтверждение приема данных

Передача данных от координатора

Синхронизированный доступ

- Во время сигнального пакета Координатор сообщает о новых данных
- Устройство ждет сигнальный пакет. Если есть новые данные, устройство запрашивает данные в определенный временной интервал согласно протоколу CSMA-CA
- Координатор передает подтверждение получения запроса от устройства
- Координатор пересылает данные в определенный момент времени согласно протоколу CSMA-CA

Стандартный доступ

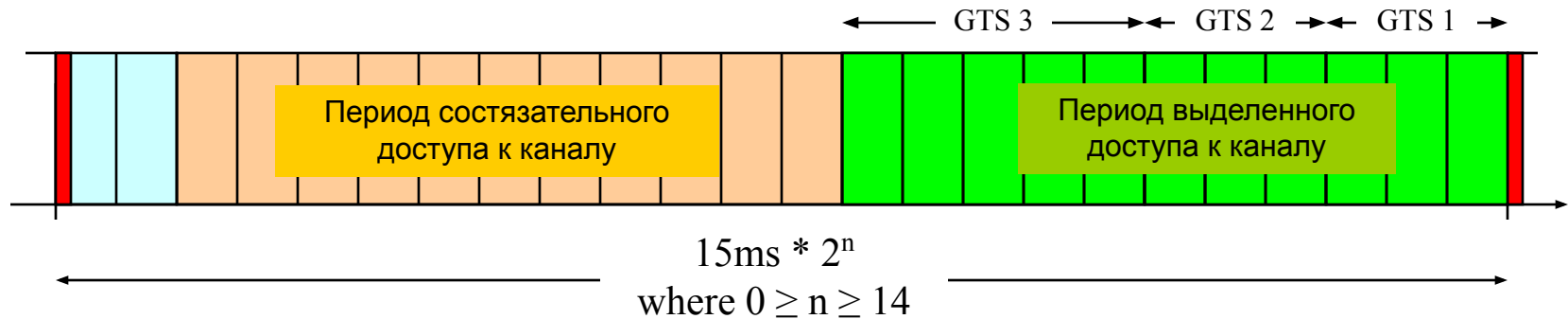
- Координатор хранит данные пока не поступит на них запрос от устройства
- Устройство посылает запрос координатору согласно протоколу CSMA-CA
- Координатор передает подтверждение получения запроса от устройства
- Координатор пересылает данные согласно протоколу CSMA CA

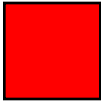
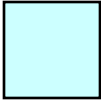
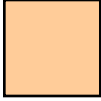
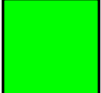
Сигнальные пакеты

Система синхронизации

- Для задания пропускной способности и малого времени ожидания
- Координатор осуществляет синхронизацию путем передачи сигнальных пакетов через определенные интервалы
 - Каждый доступ в канал осуществляется во время определенных интервалов, что исключает возможные коллизии в сети.
 - 15ms to 245sec
 - 16 равных временных интервалов одинаковой длительности между сигнальными пакетами
 - > Во время каждого временного интервала используется принцип ассоциативного доступа. Однако координатор может сам выделять временные интервалы
 - > До 7 гарантированных временных интервалов на интервале синхронизации для улучшения качества связи
 - > На периоде синхронизации возможны интервалы времени покоя для обеспечения режимов энергосбережения координатора

Режим синхронизированного доступа в сеть

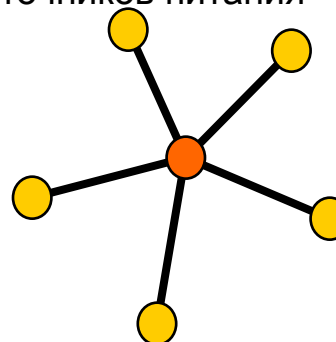


- | | | |
|--------------------------------|---|---|
| Сетевой сигнальный пакет |  | Передача от сетевого координатора. Содержит информацию по параметрам сети, структуру сетевого пакета и уведомление о наличии новых данных для сетевых устройств |
| Резерв сигнального пакета |  | Резерв под возможный увеличенный объем уведомления о наличии данных |
| Свободный доступ |  | Доступ к каналу для любого сетевого устройства согласно механизму CSMA-CA |
| Выделенные временные интервалы |  | Резерв для гарантированного доступа определенных устройств сети |

Пример сети со стандартным доступом

Беспроводные системы охраны домов и офисных зданий

- **Конечные устройства (датчики проникновения, датчики движения, датчики разбития стекол, звуковые датчики и т.д.)**
 - В состоянии покоя – 99.999% времени
 - Переход в активное состояние – в псевдослучайные моменты времени для сообщения координатору о своем присутствии в сети
 - В случае срабатывания, датчик сразу переходит в активное состояние и передает сигнал тревоги
- **Приемопередатчик Координатора сети ZigBee Coordinator, работающего от сети, постоянно находится в активном состоянии, и принимает сигналы от всех конечных устройств сети.**
 - В следствие того, что Координатор имеет «бесконечный» источник электроэнергии, он позволяет конечным устройствам находится в состоянии покоя неограниченный период времени для сбережения электроэнергии их источников питания



Пример сети с синхронизацией доступа

Координатор также может работать от автономного источника питания

- Все устройства в сети – с автономными источниками питания
- Регистрация конечного устройства в сети
 - Конечное устройство сразу после подачи питания ждет сигнала синхронизации от Координатора существующей сети ZigBee (временной интервал сигнала от 0.015 до 252 сек)
 - Обмен первичной информацией с Координатором и ожидание ответа от него к данному конечному устройству
 - Переход в состояние покоя, «просыпаясь» в моменты, определяемые Координатором сети ZigBee
 - По окончании сеанса связи с конечным устройством, Координатор также переходит в состояние покоя
- Приведенные временные параметры предполагают незначительное увеличение стоимости времязадающих цепей в каждом конечном устройстве
 - Более длительные интервалы в состоянии покоя предполагают наличие более точных времязадающих цепей *или*
 - Более ранний переход в активное состояние для уверенного приема сигнального пакета увеличивает потребление электроэнергии приемником *или*
 - Улучшение качества времязадающих цепей (увеличение стоимости) *или*
 - Задание максимального периода сигнала синхронизации, не превышающего 252 секунды, не удорожая времязадающие цепи

Адресация стандарта 802.15.4

- Каждое сетевое устройство обладает уникальным 64-битным IEEE MAC адресом
- Во время присоединения к сети каждое устройство получает уникальный 16-битный сетевой адрес
- Во время доставки пакетов данных внутри PAN сети используется только 16-битная сетевая адресация
- При обрыве связи с сетью устройство сохраняет свой сетевой 16-битный адрес, при отключении устройства от сети его сетевой адрес перераспределяется и может быть присвоен другому устройству, входящему в сеть
- Над MAC уровнем предусмотрен режим широковещательной передачи
 - Для широковещательного режима используется сетевой адрес 0xFFFF
 - Используется специальный алгоритм для трансляции и распространения широковещательного сообщения
 - Функция ограничения распространения широковещательного сообщения

Способы адресации

Топология «Звезда»

- Сетевой ID (16) + короткий местный адрес устройства (8)
- Сетевой ID (16) + уникальный IEEE адрес устройства (64)
- Cluster tree адрес (24) + короткий местный адрес устройства (8)
- Cluster tree address (24) + уникальный IEEE адрес устройства (64)

Топология «Точка-точка»

- 2x уникальный IEEE адрес устройства (64)
- 2x (Cluster tree адрес (24) + короткий местный адрес устройства (8))
- 2x (Cluster tree адрес (24) + уникальный IEEE адрес устройства (64))

Функции безопасности стандарта 802.15.4

Различные уровни безопасности сетей ZigBee/802.15.4

- Базовый уровень – таблица контроля доступа (устройство хранит таблицу других устройств, с которыми разрешен обмен информацией)
- AES128 стандарта IEEE 802.15.4 – шифрование сетевого пакета данных (исключает перехват информации)
- Собственные функции безопасности, реализованные на уровне приложений – непосредственное шифрование данных (приложение может использовать либо AES, либо другой тип шифрования)

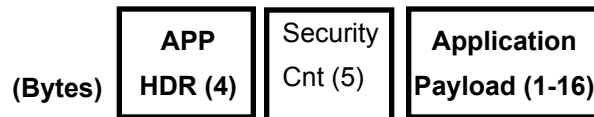
Шифрование AES-128

- 128-битное, поблочное шифрование передаваемой информации
- Применяется для шифрования непосредственно данных от уровня приложения и/или байты контроля целостности данныпакета
- Основано на использовании единого ключа между приемником и передатчиком совместно с информацией об уникальном IEEE адресе
- Применяется на определенном уровне стека
 - > Пакеты, формируемые на MAC уровне должны шифроваться на MAC уровне
 - > Пакеты, формируемые на NWK уровне должны шифроваться на NWK уровне
 - > Пакеты, формируемые на уровне Приложения должны шифроваться на уровне Приложения

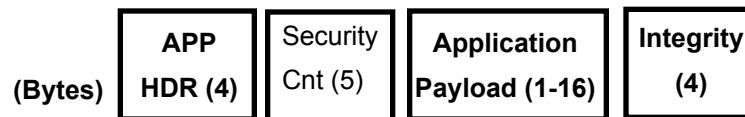
Каждая из приведенных функций требует дополнительных аппаратных затрат: FLASH памяти, RAM, загрузка CPU

Шифрование данных на уровне приложений

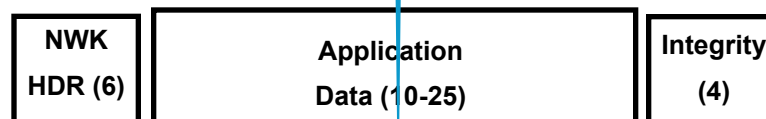
Уровень приложений



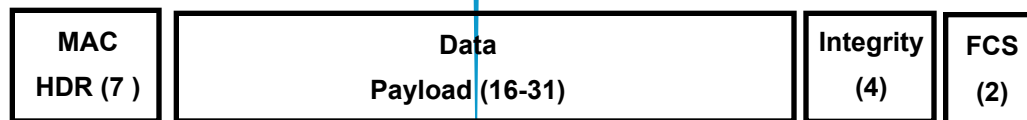
Шифрование



Сетевой уровень





MAC уровень



PHY уровень



 Контроль целостности данных

 Зашифрованные данные

Пакет данных: используется для передачи данных

Пакет подтверждения: используется для подтверждения успешной передачи данных

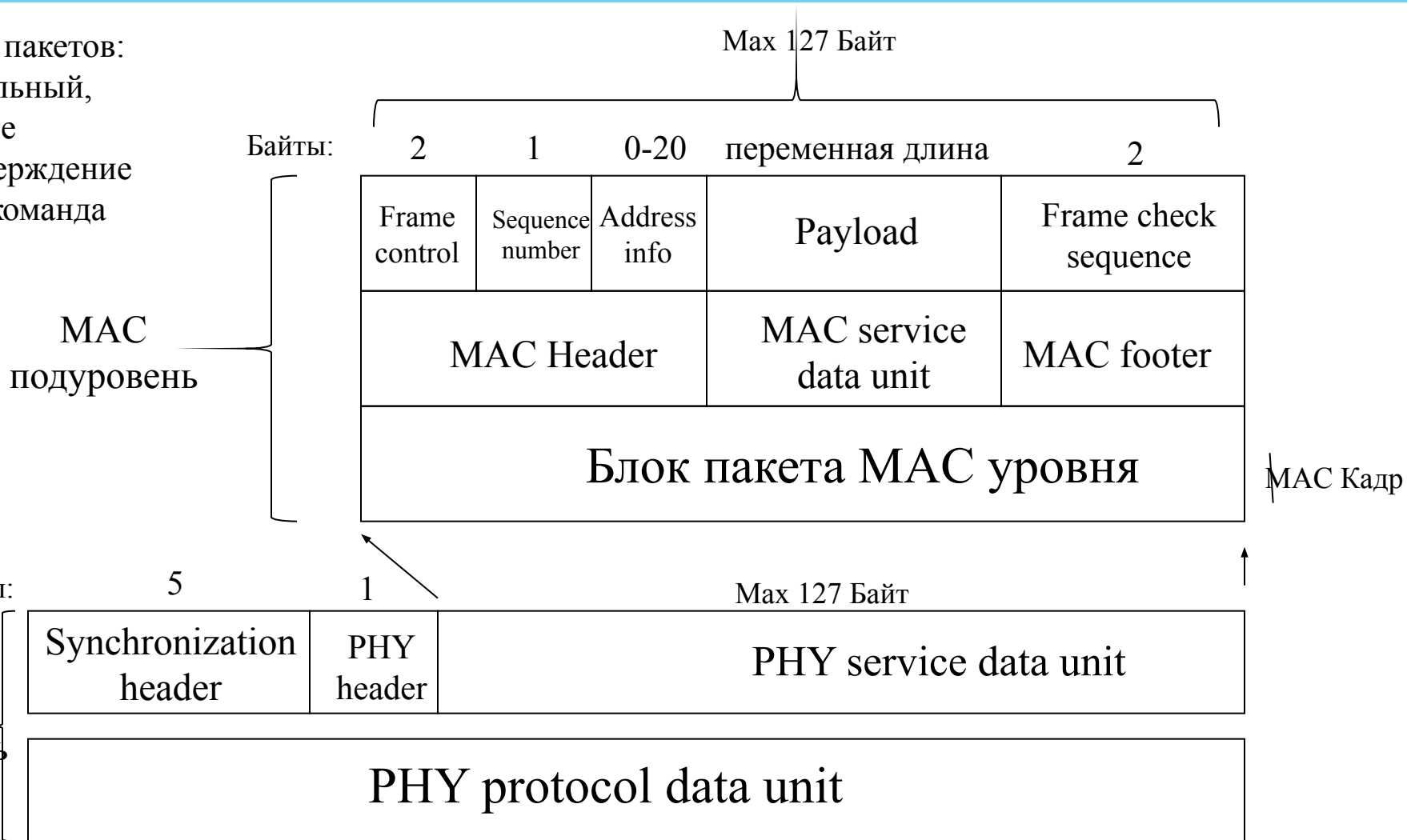
Пакет MAC команды: используется для организации пересылок управляющих MAC команд

Сигнальный пакет: используется координатором для передачи сигнальных пакетов

Формат MAC пакета

4 типа пакетов:

- Сигнальный,
- Данные
- Подтверждение
- MAC команда



Сеть ZigBee

Slide 24

Freescale Semiconductor Confidential Proprietary. Freescale™ and the Freescale logo are trademarks of Freescale Semiconductor, Inc. All other product or service names are the property of their respective owners. © Freescale Semiconductor, Inc. 2004



Основные принципы беспроводной сети ZigBee

Поддержка различных сетевых топологий

- Возможность объединения устройств в сеть по следующим топологиям: точка-точка, звезда, кластерное дерево, многоячейковая сеть.
 - Каждая обладает уникальным 16-битным идентификатором и одним координатором сети ZigBee
 - Каждая PAN сеть занимает только один RF канал (согласно спецификации стека ZigBee V1.0)

Сканирование сети

- Способность к детектированию активных каналов внутри локального персонального рабочего пространства (ПРП)

Обнаружение устройств

- Способность к идентификации устройств на активных каналах внутри ПРП

Создание/Объединение PAN

- Способность к созданию сети на незадействованном канале или к объединению с существующей сетью внутри ПРП
- По окончании формирования сети могут быть объединены только во время одновременного перезапуска каждой из объединяемых сетей (согласно спецификации стека ZigBee V1.0)
- Функциональное разделение всех сетевых устройств: Координатор, маршрутизатор, конечное устройство

Распознавание сервисов

- Способность к распознаванию поддерживаемых/доступных сервисов для заданных устройств внутри PAN

- Запрос на предоставление сервисов может исходить от любого устройства в сети

Варианты топологий сетей ZigBee/802.15.4 на базе платформы компании Freescale Semiconductor

Топология «Звезда» включает в себя один координатор сети ZigBee и одно или несколько конечных устройств сети ZigBee (теоретически до 65,536)

Топология «Кластерное дерево» позволяет использовать маршрутизацию по принципу сетевой маски (N-битовый шаблон, определяющий разделение адреса на части, относящиеся к сети, подсети и конечному узлу)

- Обращение к устройствам вверх или вниз по иерархической сетевой ветви определяет разрядность адреса

Топология «многоячейковая сеть» позволяет создавать таблицы маршрутизации между всеми устройствами в сети ZigBee

- Лавинная маршрутизация используется для определения путей от отправителя к получателю
- Отклики устройств при маршрутизации позволяют определять наиболее оптимальные маршруты в сети
- Таблицы маршрутизации создаются из оптимальных путей

Характеристики координатора сетей ZigBee

Координатор:

- Определяет незадействованные каналы из перечня каналов, доступных для организации сети и определяемых разработчиком и организует сеть
- Передает сетевые сигнальные пакеты с информацией о существующей сети
- Управляет сетевыми подчиненными устройствами, устанавливает параметры сети
 - Определяет максимальную глубину вложенных подсетей, число сетевых маршрутизаторов и число подчиненных устройств
- Обеспечивает маршрутизацию между подчиненными устройствами
- Большую часть времени находится в режиме приема
- Обеспечивает организацию таблиц маршрутизации
- Позволяет маршрутизаторам и конечным устройствам входить в сеть

Характеристики маршрутизатора сетей ZigBee

Маршрутизатор:

- Определяет активные каналы, подключается к сети и позволяет другим устройствам входить в сеть
 - Использует дополнительные, определенные приложением, списки активных каналов
- Ретранслирует сигнальные сетевые пакеты с параметрами сети от координатора
- Администрирует сетевые адреса подключенных к маршрутизатору подчиненных устройств
- Поддерживает классы устройств маршрутизации:
 - Устройство с таблицей маршрутизации и с функцией древовидной маршрутизации
 - Устройство только с функцией древовидной маршрутизации
 - Поддержка функции аварийной древовидной маршрутизации
- Поддерживает два режима работы устройств:
 - Работа без перехода в «спящий режим»
 - Работа с переходом в «спящий» режим в периоды, определяемые координатором сети и параметрами сетевой синхронизации
- Поддерживает функции маршрутизации многоячейковых сетей:
 - Создает таблицы соседних сетевых узлов с параметром качества связи с каждым из них
 - Создает таблицы сетевой маршрутизации
 - Ретранслирует пакеты запроса и подтверждения определения маршрутов между ZigBee устройствами
- Поддерживает функции маршрутизации по древовидному принципу:
 - Транслирует сообщения вверх и вниз по иерархической древовидной структуре ветвей в направлении от адреса получателя сообщения

Slide 28

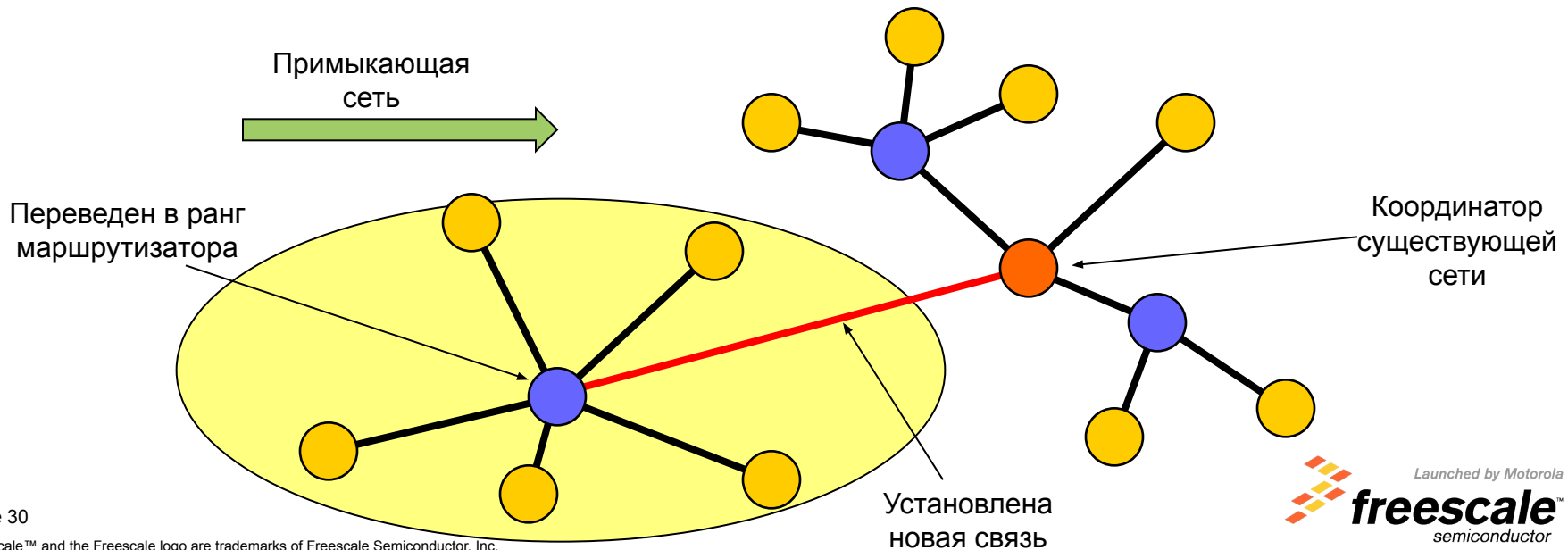
Характеристики конечного устройства сетей ZigBee

Конечное устройство:

- Всегда ищет и пытается войти в существующую сеть
 - Использует дополнительные, определенные приложением, списки активных каналов
 - Использует синхронизирующие пакеты существующей сети для определения параметров сети и маршрутизатора для входа в сеть
- Питается от автономного источника (батареи)
- Определяет из пакетов синхронизации о наличии данных от координатора
- Запрашивает данные от координатора
- Способен находиться в «спящем» режиме длительное время (до 99.99% от всего времени работы)

Расширение сети

- Маршрутизатор (FFD) сканирует сеть, находит активные каналы и пытается войти в состав существующей сети либо создает собственную персональную сеть на правах координатора, если нет активных каналов или не произошло объединение с активной сетью.
- Если произошло объединение, согласно правилам уже существующей сети координатор примыкающей локальной сети переводится в ранг маршрутизатора и передает всю информацию о локальной сети координатору существующей сети.
- Из сигнального пакета синхронизации от координатора новообразованный маршрутизатор получает необходимую информацию о временных параметрах перехода из состояния покоя в активный режим сети для обнаружения последующих сигнальных пакетов



Пример маршрутизации

Объединение на уровне Master/Slave

Slave устройства не сохраняют сетевую информацию (таблицы маршрутизации и т.д.)

- Список абонентов, таблица маршрутизации и другая сетевая информация требует дополнительного места в памяти
- Информация о конфигурации сети должна постоянно обновляться

Slave устройства способны выдавать запрос на соединение

- Master устройства обеспечивают и администрирует каналы связи

Маршрутизация обеспечивается master устройством

Алгоритм маршрутизации сетей ZigBee:

- Создан для обеспечения высоконадежной связи между ZigBee устройствами используя минимум вычислительных, энергетических и информационных ресурсов
- Использует иерархические процедуры маршрутизации с возможностью создания таблиц маршрутизации

Связи могут быть разорваны по такому же принципу

Маршрутизация (1)

Работа ZigBee устройства в случае необходимости транслировать пакет данных:

Устройство без таблиц маршрутизации

- Устройство транслирует пакет старшему по рангу устройству

Устройство с таблицами маршрутизации

- При наличии пути к получателю сообщения в таблице маршрутизации устройсет согласно данному маршруту
- При отсутствии обозримого пути к получателю устройство пытается определить путь прохождения пакета. В случае определения маршрута устройство транслирует пакет, если маршрут не найден, устройство передает отправителю пакета сообщение об ошибке.
- Условием инициирования процесса определения маршрута является:
 - Если NWK уровень получил пакет данных с более высокого уровня стека с командой «определение маршрута» **или** с информацией об отсутствии обозримого маршрута к получателю сообщения
 - Если NWK уровень получил пакет данных с MAC уровня с запросом об определении маршрута к получателю **вместе с** отсутствием обозримого маршрута к получателю сообщения

Маршрутизация (2)

При получении пакета с запросом об определении маршрута к получателю, устройство:

- Отбрасывает пакет, если он не исходит от источника сообщения или от подчиненного устройства
- Обновляет адрес отправителя пакета, обновляет поле счетчика пересылок пакета, статус запроса на определение маршрута и передает пакет по древовидному принципу более старшему по рангу устройству, если пакет поступил от источника сообщения или от подчиненного устройства, и отправитель запроса находится в той же ветви сети вместе с получателем данного запроса
- Отправляет подтверждение определения маршрута, если устройство, получившее данный запрос, является конечным получателем пакета

Маршрутизация (3)

При получении пакета с подтверждением определения маршрута к получателю, устройство с таблицами маршрутизации:

- Создает новую запись в таблице маршрутизации о пути к отправителю пакета, если устройство является конечным получателем данного пакета и в таблице нет записи о данном маршруте
- Обновляет данные о маршруте к отправителю в случае, если устройство является конечным получателем данного пакета и в таблице уже есть запись о данном маршруте, и если значение счетчика пересылок пакета меньше существующего значения в таблице маршрутизации
- Создает новую запись в таблице маршрутизации, если устройство не является конечным получателем пакета с запросом и в таблице нет записи о данном маршруте
- Обновляет данные о маршруте, если устройство не является конечным получателем пакета с запросом и в таблице уже есть запись о данном маршруте, и если значение счетчика пересылок пакета меньше существующего значения в таблице маршрутизации

Маршрутизация (4)

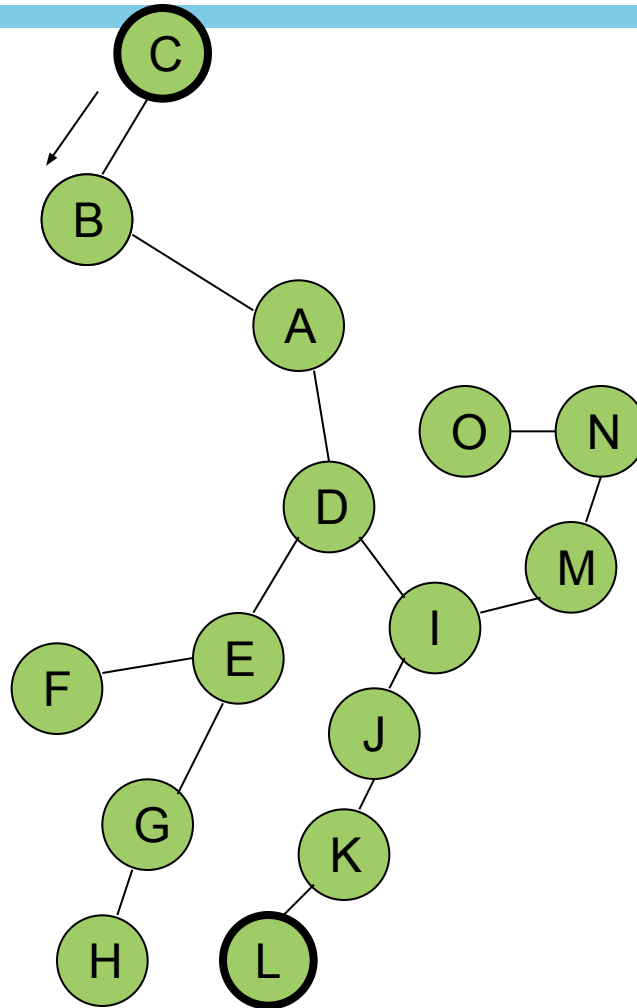
При получении пакета с подтверждением определения маршрута к получателю, устройство без таблиц маршрутизации:

- Отбрасывает пакет, если устройство не является конечным получателем пакета
- Транслирует пакет более старшему по рангу устройству в данной ветви, используя древовидный иерархический принцип, если устройство не является конечным получателем пакета, предварительно обновив поле счетчика пересылок пакета с подтверждением

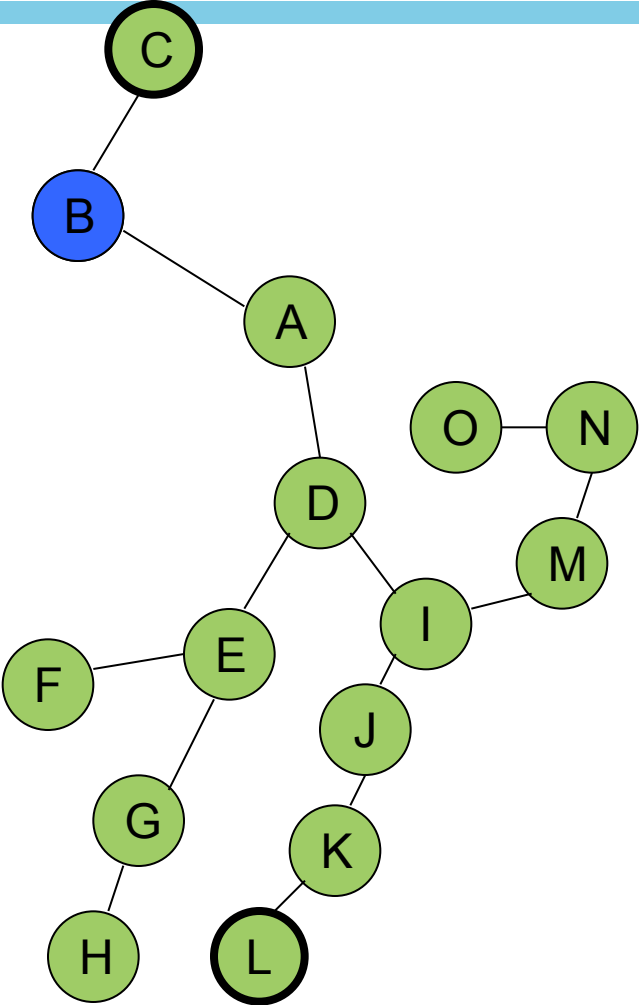
Маршрутизация (5)



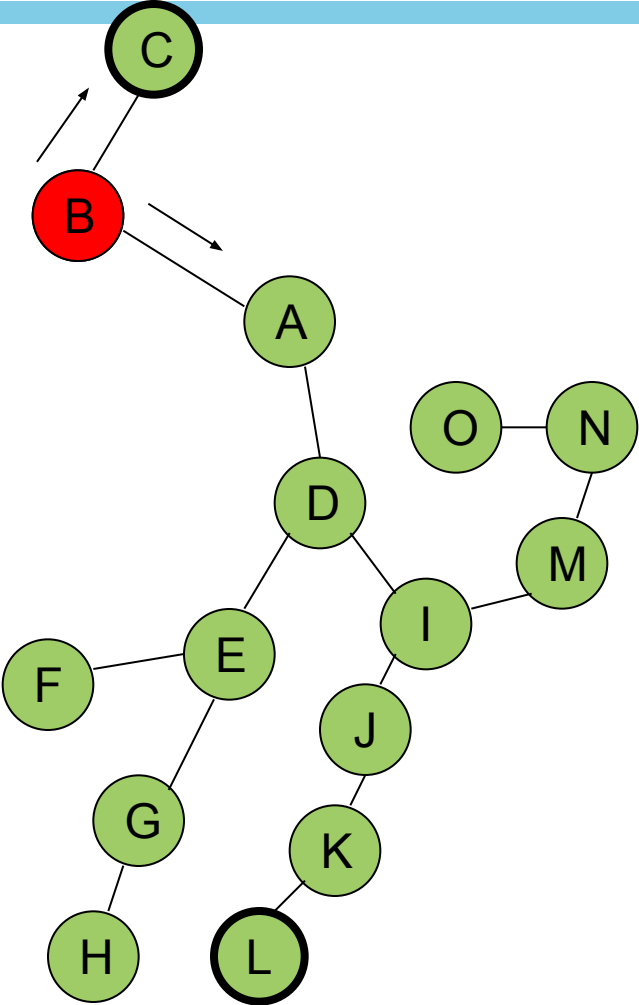
Маршрутизация (6)



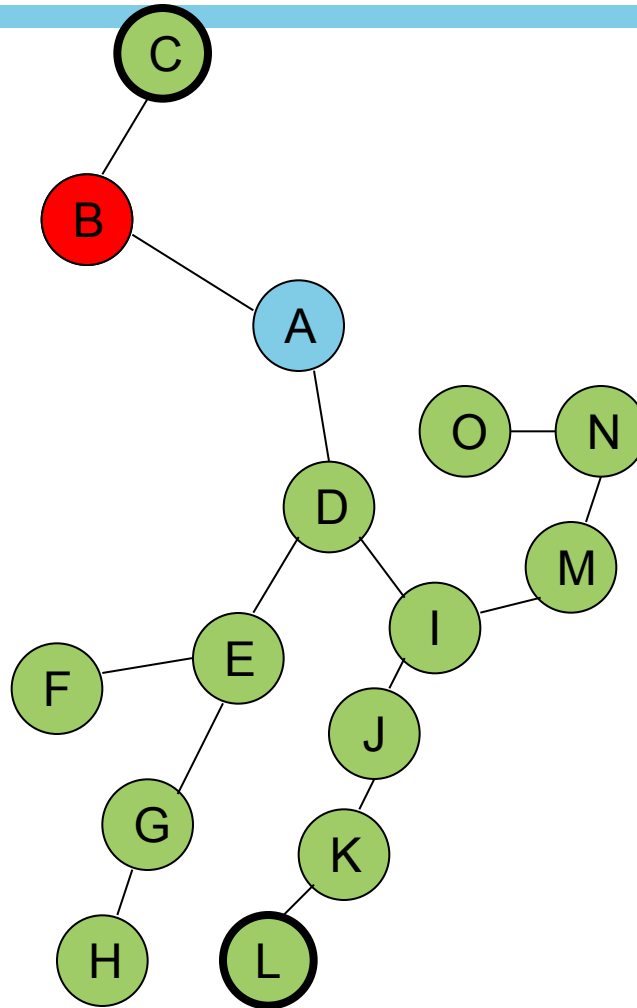
Маршрутизация (7)



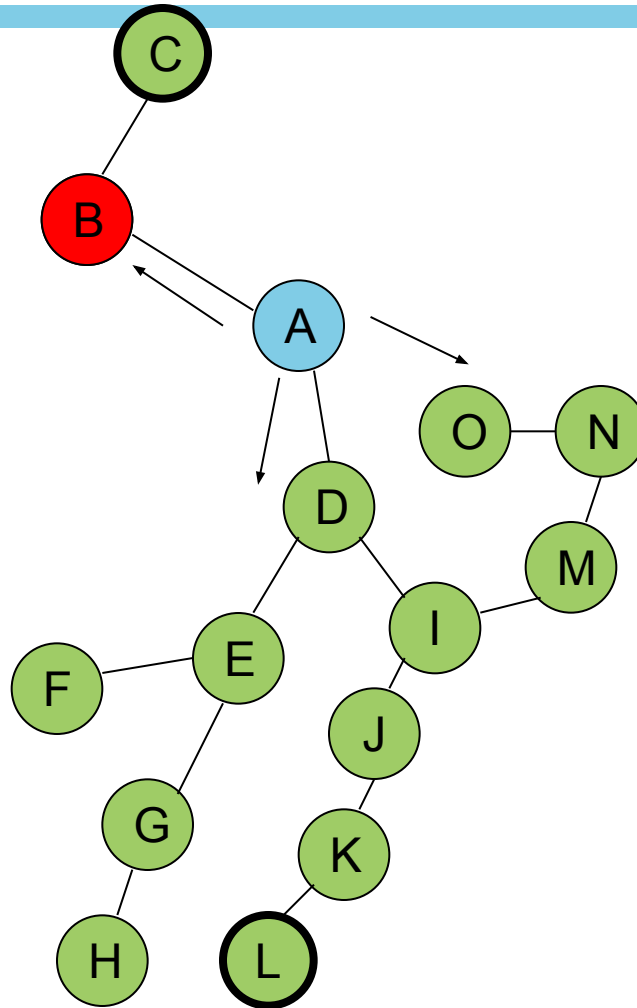
Маршрутизация (8)



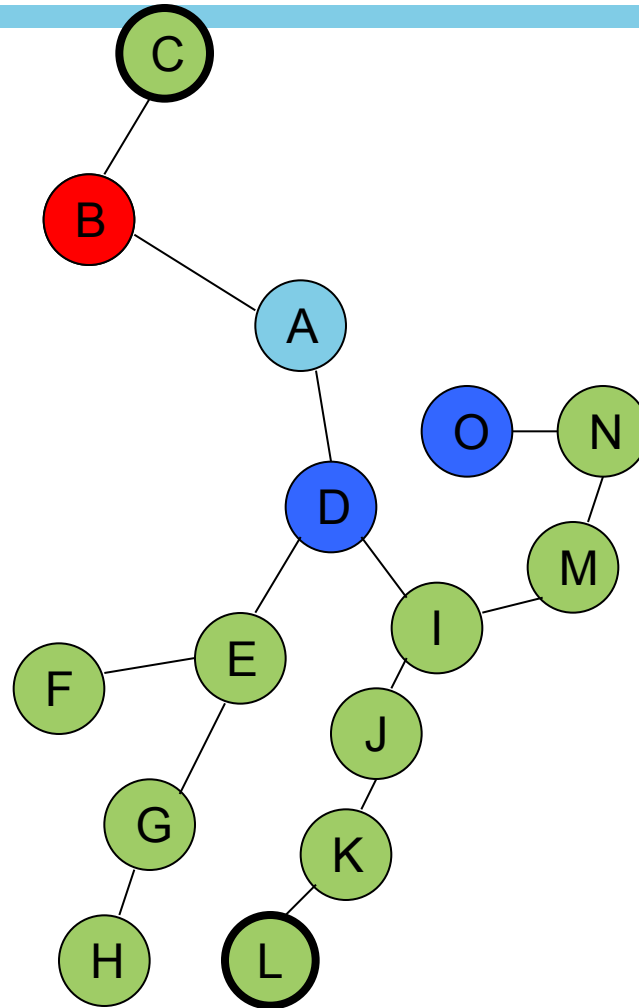
Маршрутизация (9)



Маршрутизация (10)

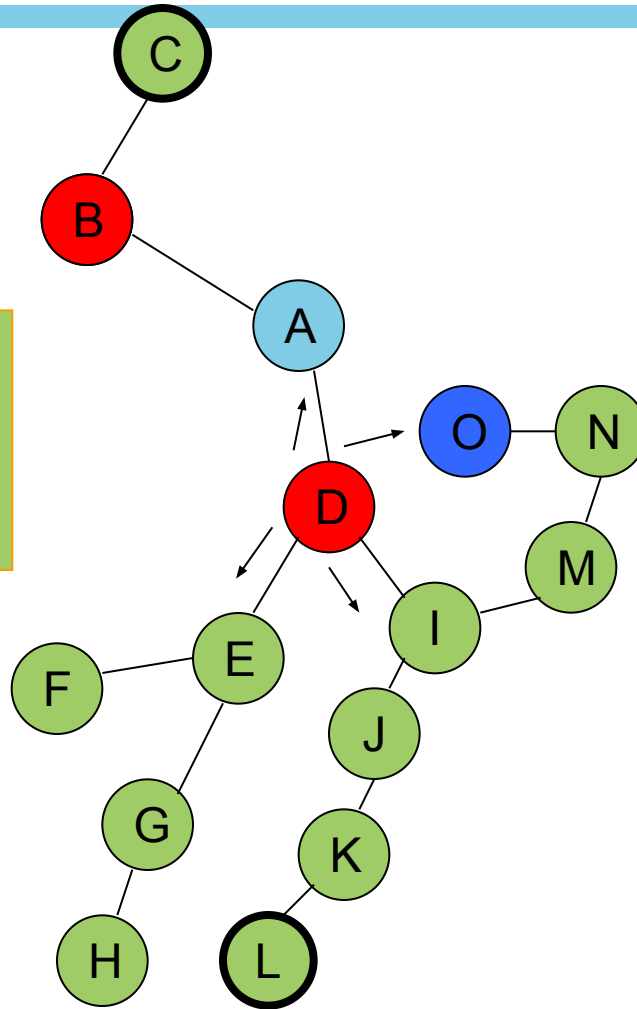


Маршрутизация (11)



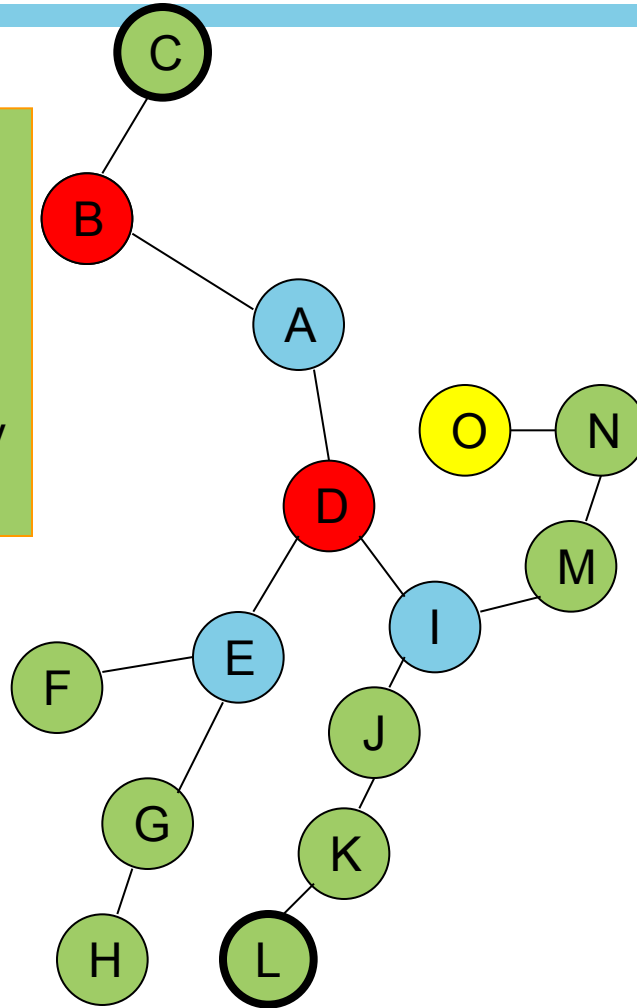
Маршрутизация (12)

Данный маршрут обеспечивает меньше пересылок. Поэтому «D» ретранслирует первым.

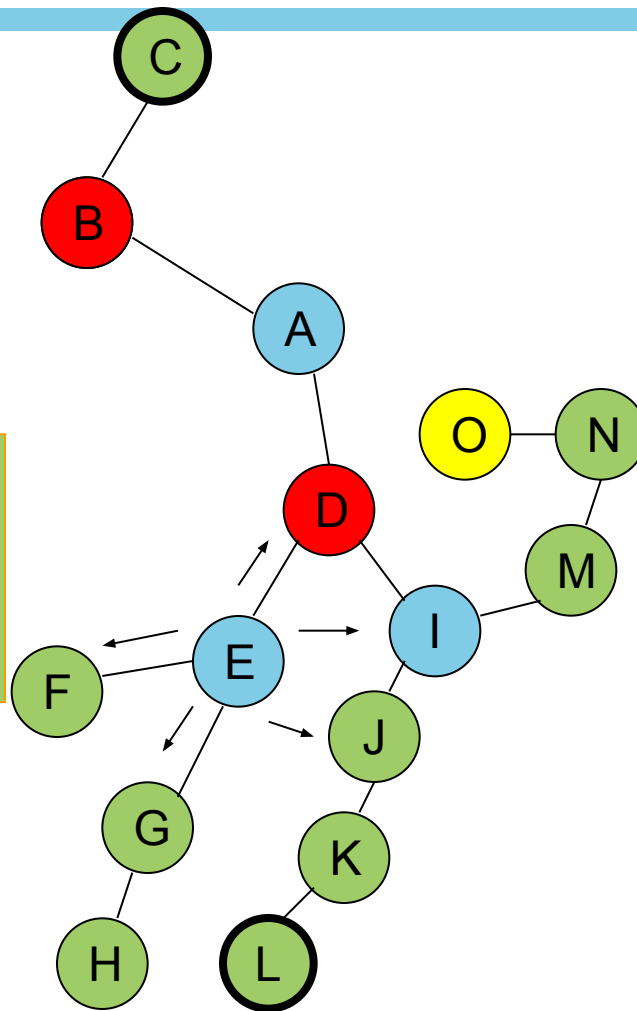


Маршрутизация (13)

Переходит в обычное состояние и отбрасывает пакет после получения ретранслируемого пакета от устройства, которое является старшим по рангу к конечному получателю

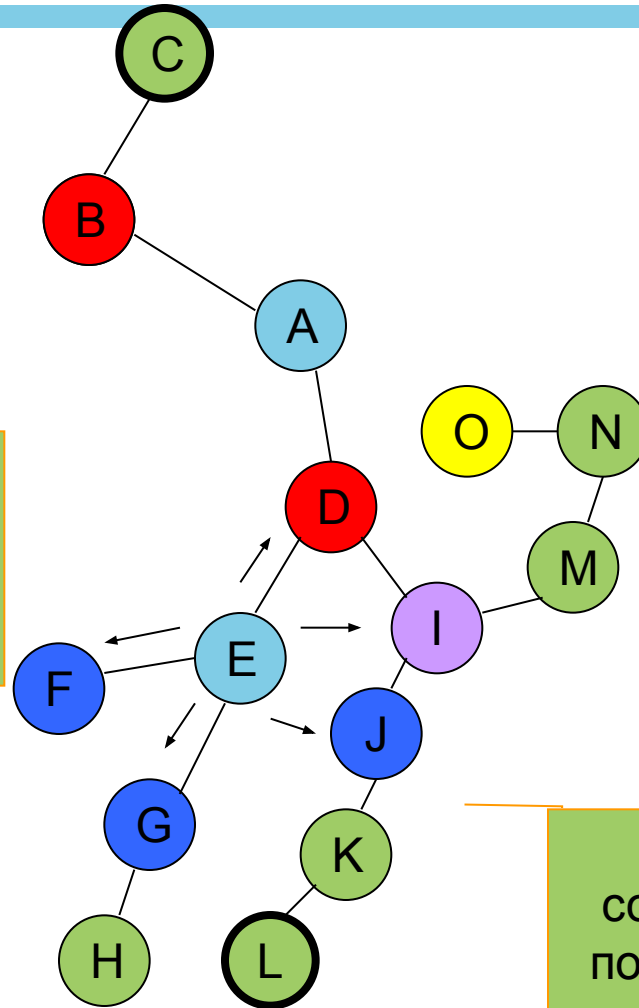


Маршрутизация (14)



Данный маршрут обеспечивает меньше пересылок. Поэтому «Е» ретранслирует первым.

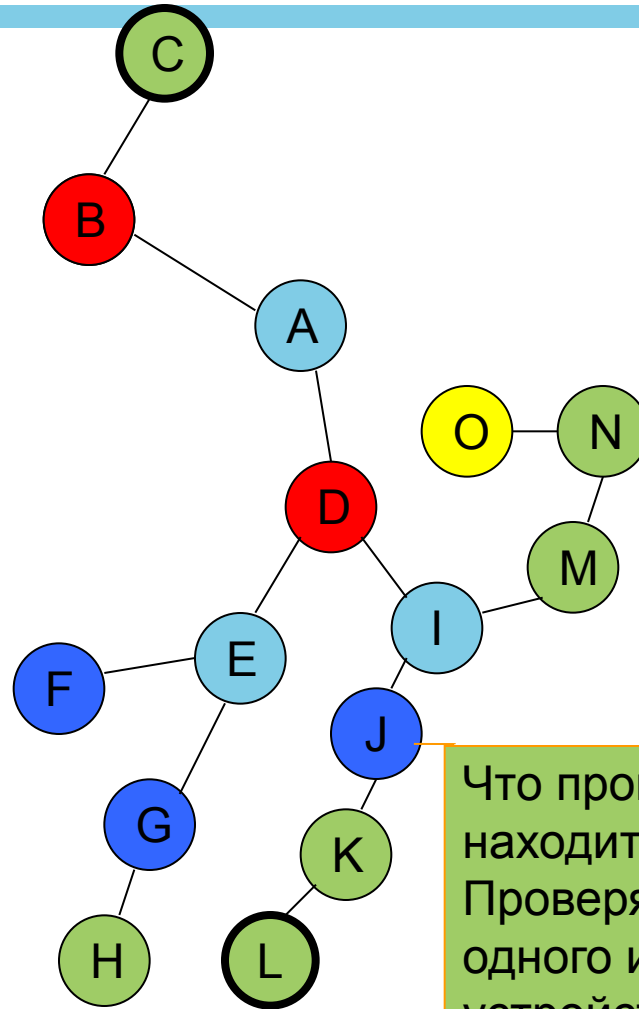
Маршрутизация (15)



Данный маршрут обеспечивает меньше пересылок. Поэтому «Е» ретранслирует первым.

Переходит в обычное состояние после повторного получения ретранслируемого пакета, однако...

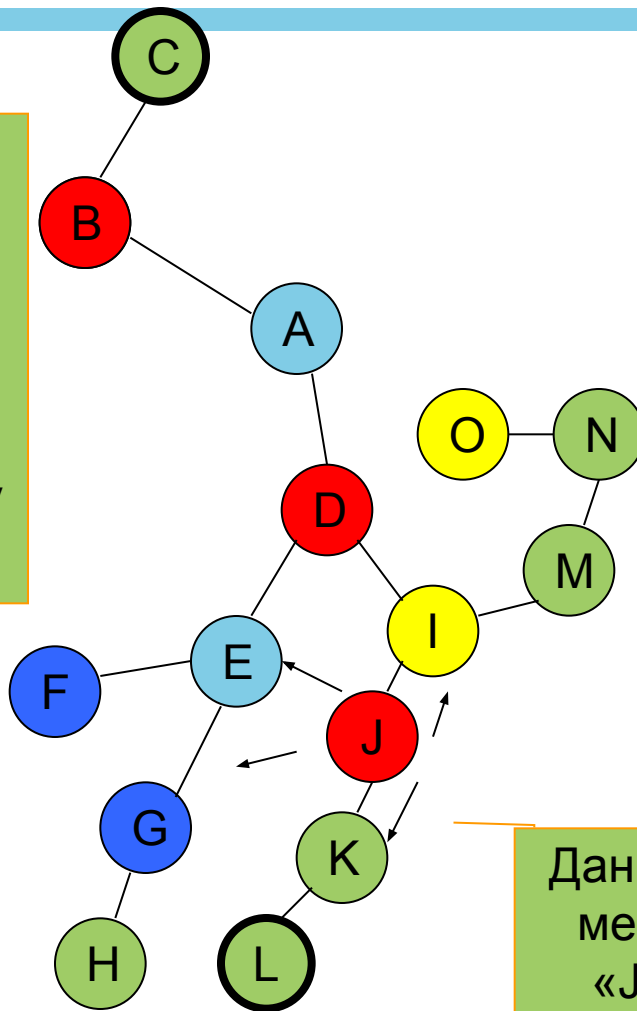
Маршрутизация (16)



Что произойдет, если получатель находится в той же ветви сети? Проверять, дошел ли запрос до одного из своих подчиненных устройств, не переходит в обычное состояние, ретранслируя пакет с увеличенной задержкой

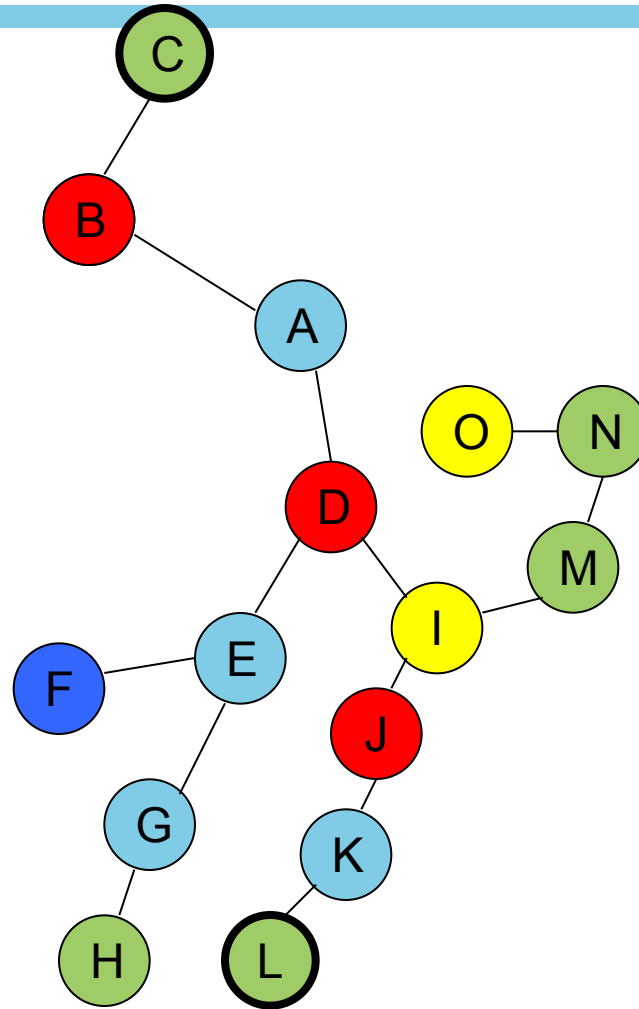
Маршрутизация (17)

Переходит в обычное состояние и отбрасывает пакет после получения ретранслируемого пакета от подчиненного устройства, которое является старшим по рангу к конечному получателю



Данный маршрут обеспечивает меньше пересылок. Поэтому «J» ретранслирует первым.

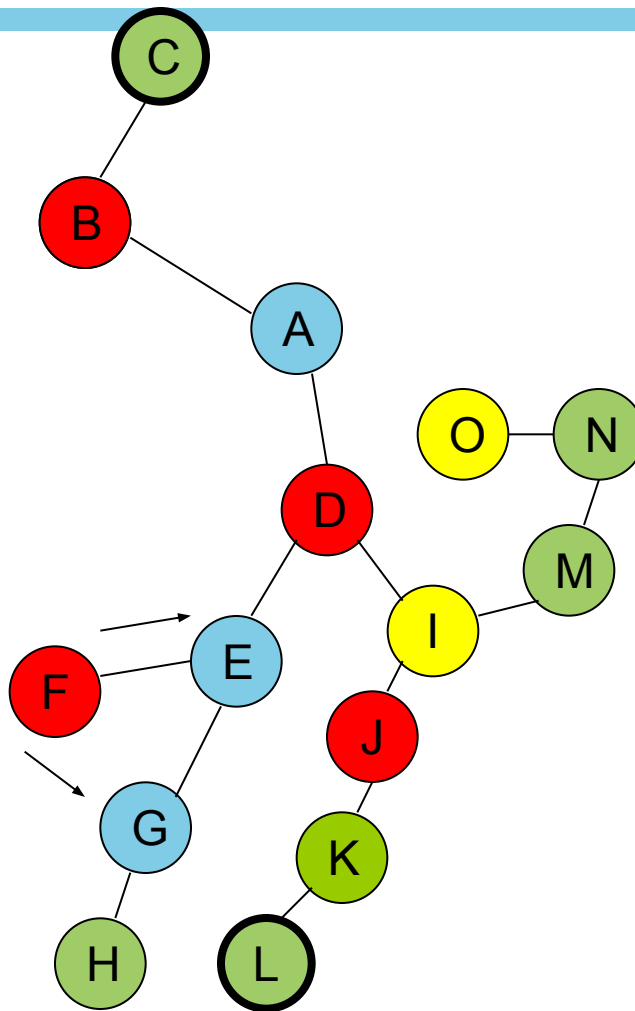
Маршрутизация (18)



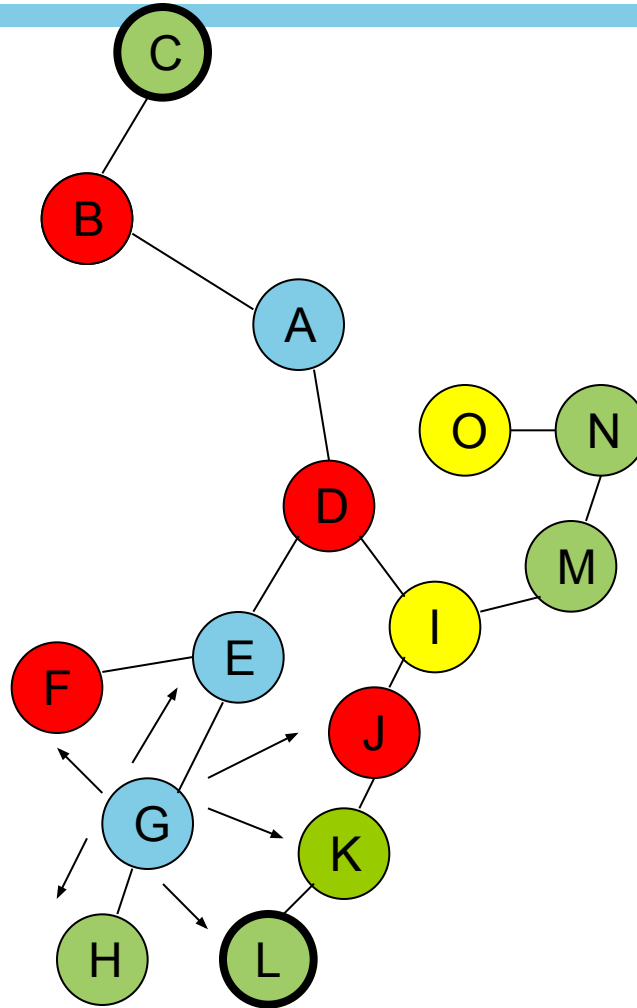
Получив пакет и определив, что получатель является соседним устройством, «G» напрямую обращается к получателю

Маршрутизация (19)

Отбрасывает пакет, определив что «Е» уже ретранслировало пакет



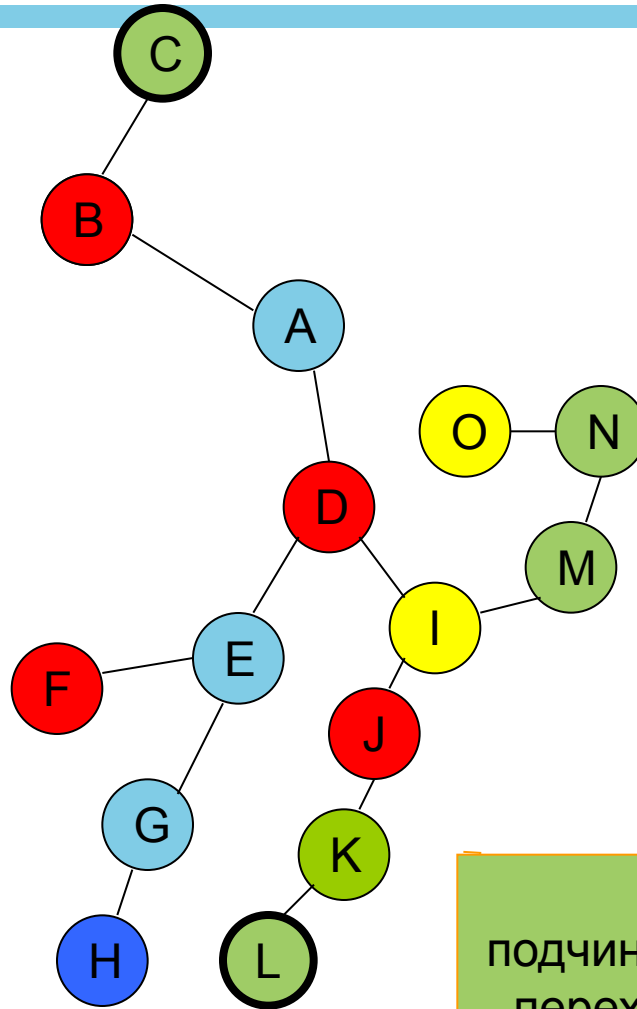
Маршрутизация (20)



Ретранслирует первым к получателю, определив наиболее короткий маршрут

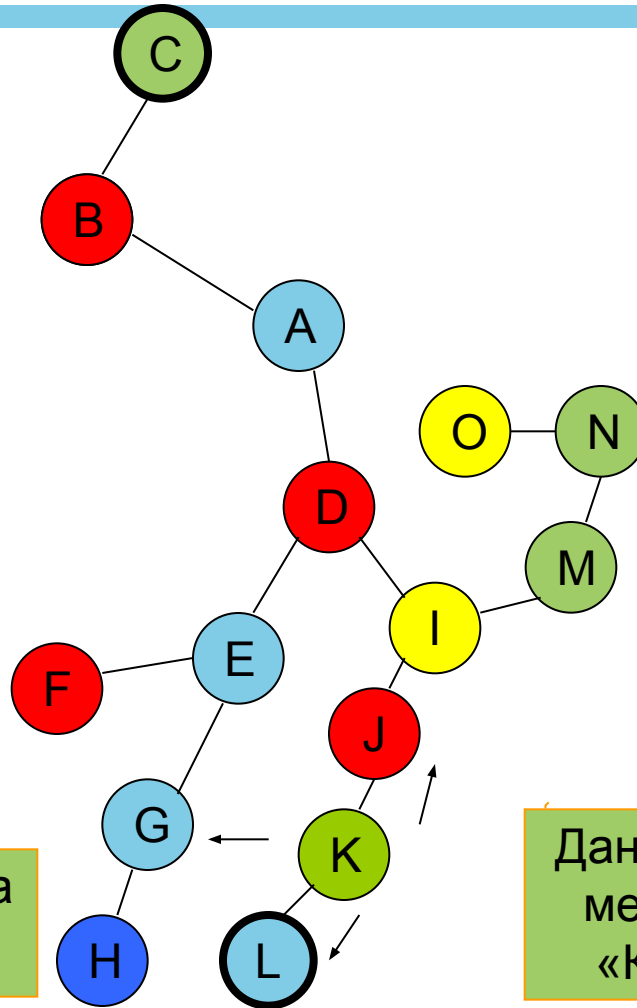
Появление первого запроса на определение маршрута

Маршрутизация (21)



Получатель является подчиненным устройством. «К» не переходит в обычное состояние

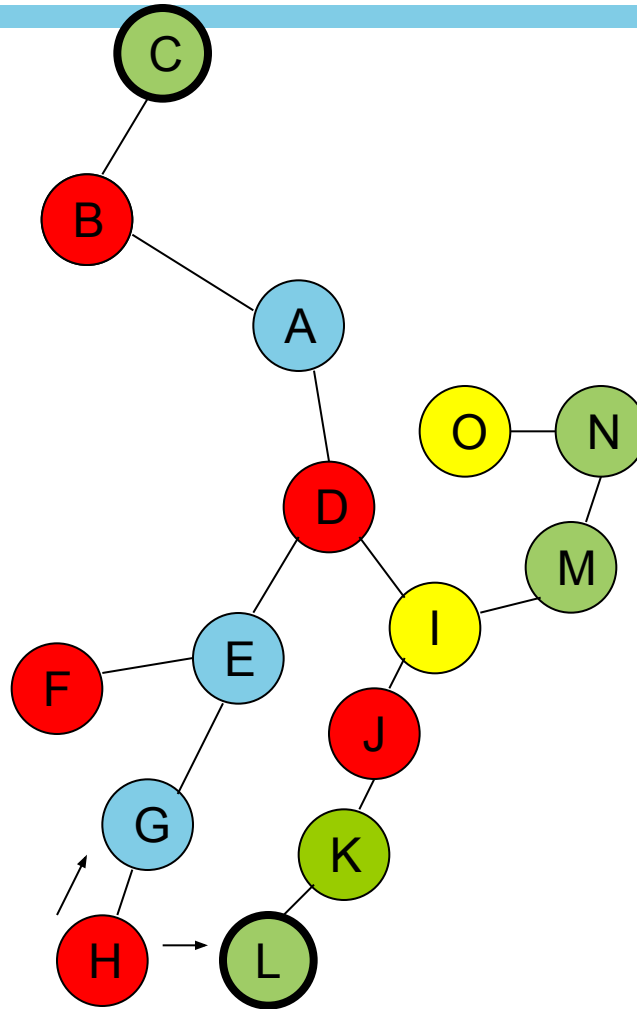
Маршрутизация (22)



Появление второго запроса на определение маршрута

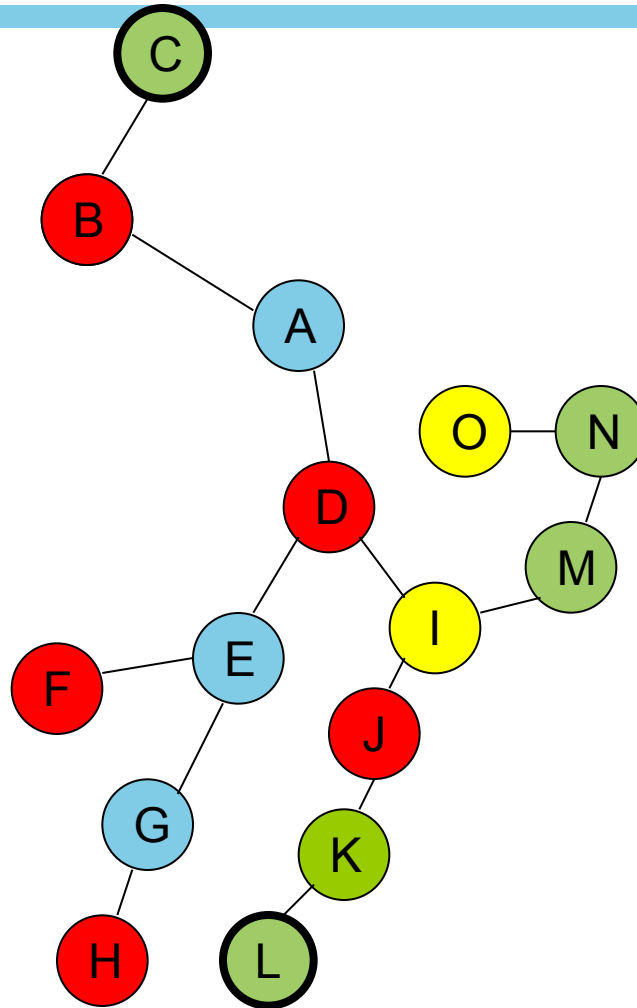
Данный маршрут обеспечивает меньше пересылок. Поэтому «К» ретранслирует первым.

Маршрутизация (23)

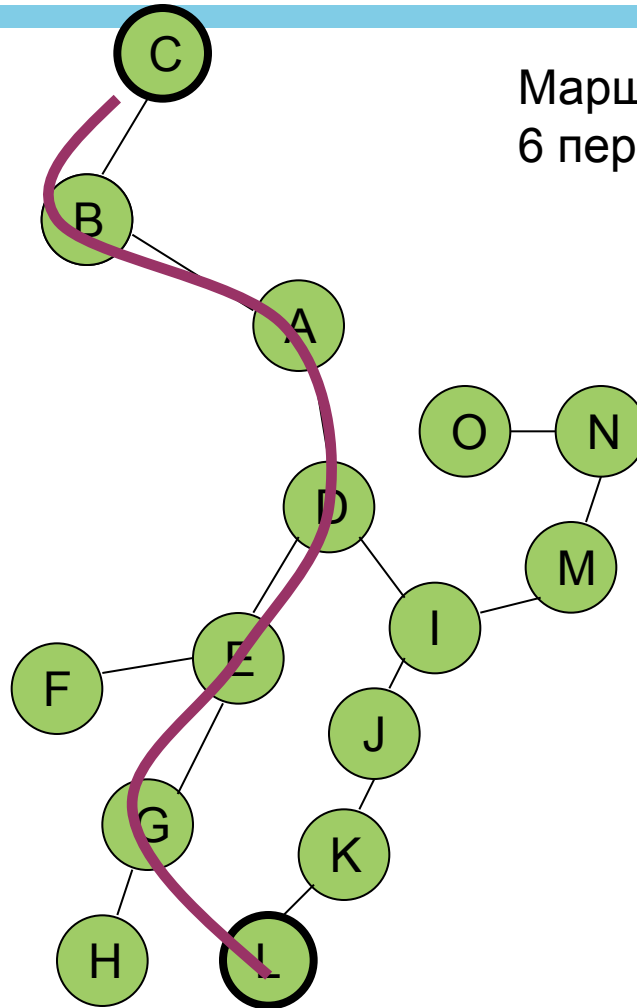


Появление третьего запроса
на определение маршрута

Маршрутизация (24)

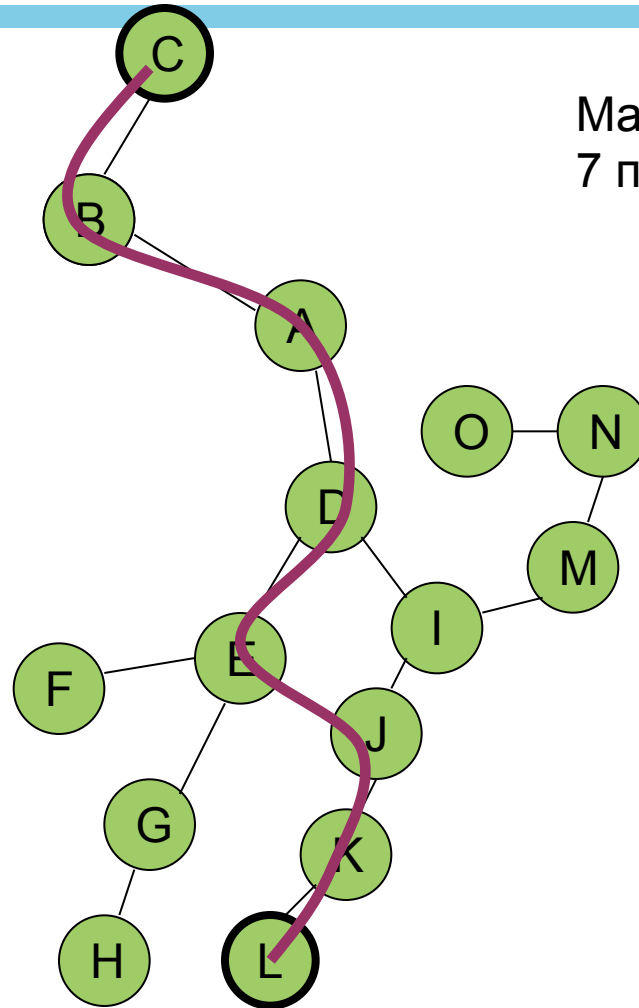


Маршрутизация (25)



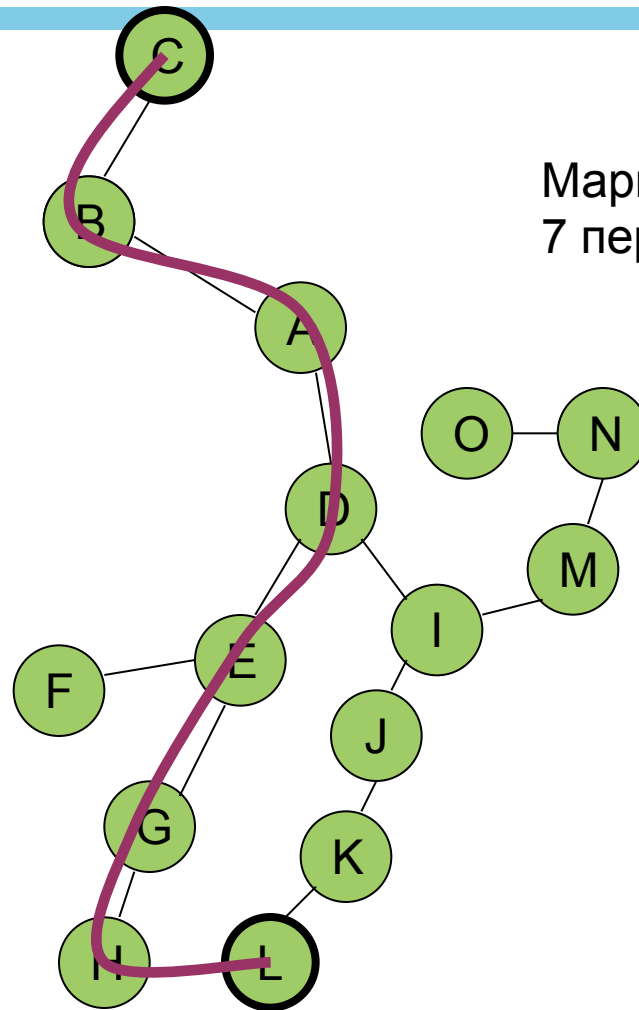
Маршрут 1
6 пересылок

Маршрутизация (26)



Маршрут 2
7 пересылок

Маршрутизация (27)

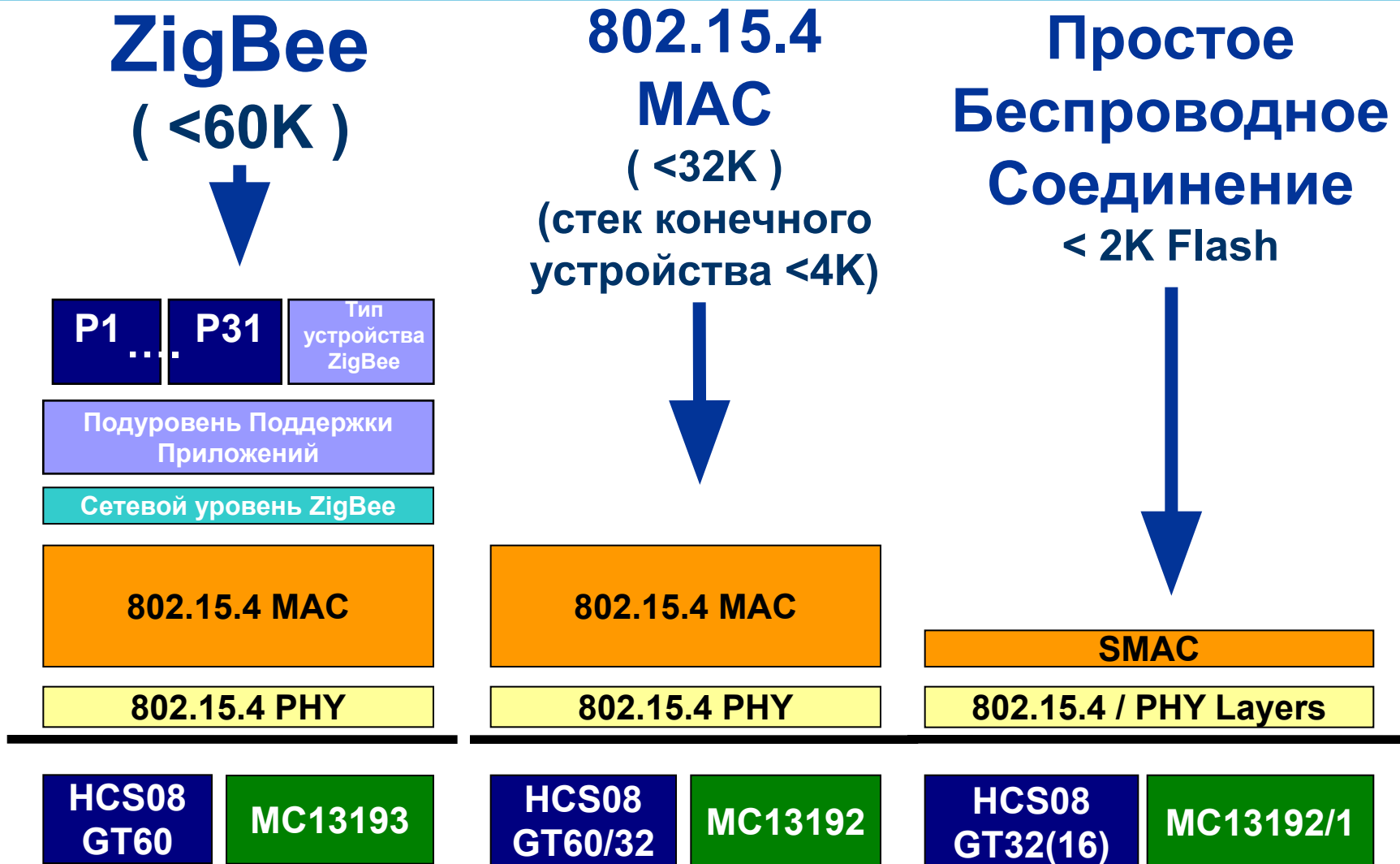


Маршрут 3
7 пересылок






Программная реализация стека протоколов ZigBee / 802.15.4

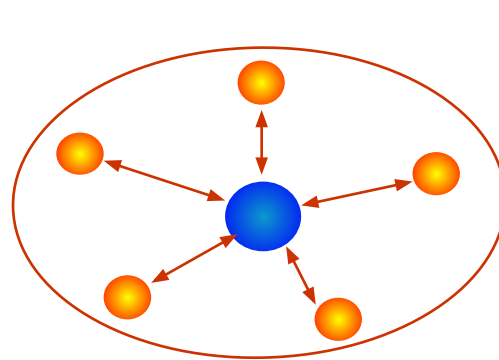


Реализация беспроводных соединений ZigBee/802.15.4 на базе платформы Freescale Semiconductor

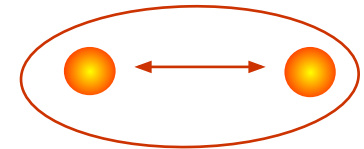


Реализация топологий сетей ZigBee/802.15.4

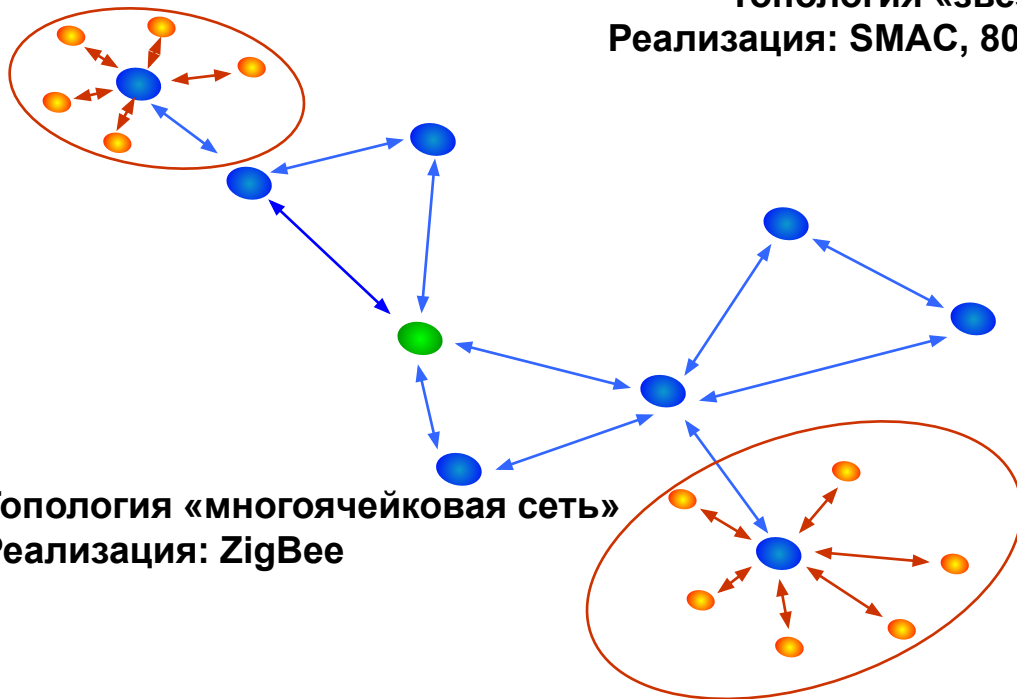
-  PAN Координатор ZigBee (FFD)
-  Маршрутизатор ZigBee (FFD)
-  Конечные устройства ZigBee (RFD или FFD)
-  Связи в многоячейковой сети
-  Радиальные связи типа точка-точка



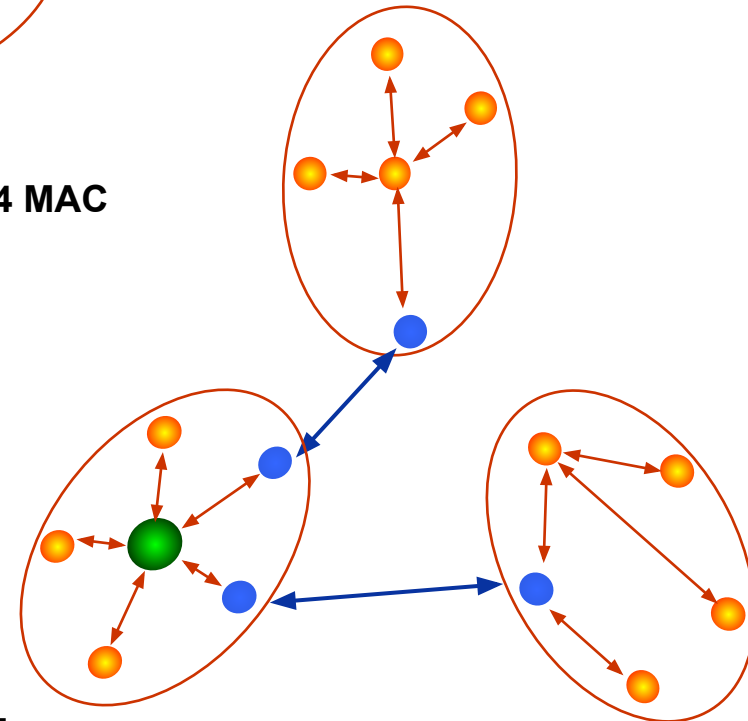
Топология «звезда»
Реализация: SMAC, 802.15.4 MAC



Топология «точка - точка»
Реализация: SMAC, 802.15.4 MAC



Топология «многоячейковая сеть»
Реализация: ZigBee



Топология «кластерное дерево»
Реализация: 802.15.4 MAC, ZigBee

Freescale

S-MAC / 802.15.4 D18 MAC

Что такое S-MAC?

- Упрощенный MAC (Simple MAC)
- Позволяет организовывать беспроводные крайне низко энергопотребляющие двусторонние информационные каналы
- Минимальные требования к аппаратным ресурсам МК (2k driver/phy/mac)
- Отсутствие жестких временных ограничений по работе МК
- Адаптируется к любому МК
- Открытый исходный код на языке Си для семейства HCS08
- Готовые функции по работе с микросхемой приемопередатчика MC13191/2

Особенности реализации S-MAC

- Только пакетная передача
- Тактирование МК от внешнего кварца либо от RF MC
- Задействован только 1 таймер в составе MC13192 для обеспечения тайм-аута по приему (Rx Timeout)
- Поддержка режимов пониженного энергосбережения (Off/hibernate/doze)
- Отсутствие сетевых процедур и функций в исходном коде (реализуется на стороне приложения)
- Реализация функции подтверждения успешного приема сообщения (ACK) на стороне приложения

Аппаратные требования

- Совместим с MC13192/1 (отладочные платы ARD/SARD/RF Daughter card)
- Микроконтроллер:
 - Память: 2.5K Flash, 10 байт RAM + RAM буфер, равный длине пакета
 - Интерфейс:
 - SPI или 3 порта ввода/вывода
 - CE – 1 порт ввода/вывода
 - RXTXEN – 1 порт ввода/вывода
 - ATTN – 1 порт ввода/вывода (для перевода RF MC из режима пониженного энергопотребления в состояние IDLE)
 - RESET – 1 порт ввода/вывода (для сброса RF MC)
 - IRQ (возможно использование KBI)



Чем не является S-MAC?

- **Невозможно использовать в качестве исходного кода для ZigBee приложений**
- **Не совместим со стандартом 802.15.4**
- **Не является официальным сертифицированным продуктом компании Freescale Semiconductor (начальный уровень при построении беспроводных соединений на базе MC13191/2)**
- **Не обеспечен обширной документацией и всесторонней технической поддержкой со стороны Freescale Semiconductor**

Почему S-MAC?

- **Начальный этап при освоении RF MC13191/2 и определении параметров схемы**
- **Беспроводные решения типа «точка-точка» или «точка-много точек»**
- **Простые приложения (удаленное управление замыканием / размыканием или включением / выключением, автомобильные и гаражные системы, недорогие малопотребляющие приложения)**
- **Бесплатный исходный код для уровней PHY и SMAC**
- **Набор разработчика SMAC приложений включает:**
 - **Metrowerks CodeWarrior**
 - **Общее число файлов (S-MAC Си код) для SMAC уровня – 6**
 - **Общее число файлов (Си код приложения) ~ 10**
 - **BDM – адаптер (предпочтительно USB)**
 - **Обширный набор примеров реализации**

Freescale IEEE 802.15.4 D18 PHY уровень

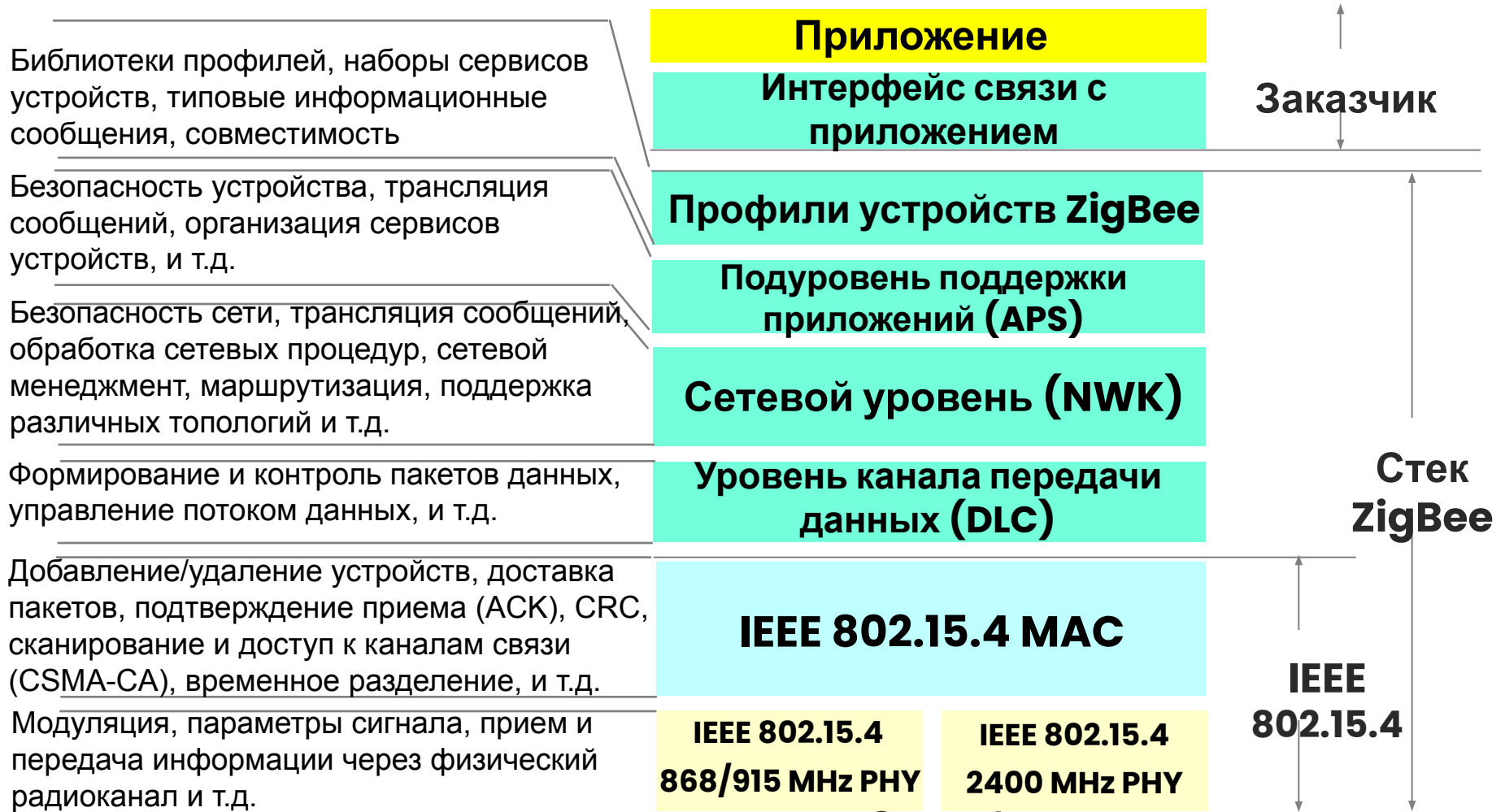
- Полностью соответствует стандарту IEEE 802.15.4
- Создан специально для работы с D18 MAC, однако может использоваться отдельно совместно с собственными уровнями MAC и выше
- Включает аппаратно реализованные интерфейсы (SPI, GPIO, и т.д.)
 - На стороне МК подпрограммы предоставляются в исходном коде для возможности использования произвольных портов ввода/вывода
- Поточковый режим передачи
 - Предъявляет повышенные требования к точности времен работы МК в режимах Rx/Tx
- Программная поддержка внешнего Rx/Tx переключателя

Freescale IEEE 802.15.4 D18 MAC уровень

- Полностью соответствует стандарту IEEE 802.15.4
- Доступен в виде библиотек, поддерживающих различные классы устройств:
 - FFD (координатор, роутер с/без таблицами маршрутизации)
 - RFD
- Библиотеки созданы для МК семейства HCS08
- Программная реализация АСК
- Программная реализация AES-128 шифрования
- Бесплатный набор программных средств 802.15.4 D18 MAC/PHY от компании Freescale Semiconductor
- Набор разработчика D18 MAC/PHY приложений включает:
 - Metrowerks CodeWarrior
 - Проект МСР для создания собственных проектов
 - Примера проектов
 - Библиотеки LIB с MAC функциями
 - Перечень используемых платформ в проекте + исходный код интерфейса с MC1319x уровня PHY
 - BDM – адаптер (предпочтительно USB)
 - Программное обеспечение Test Tool для просмотра и установки параметров системы и загрузки собственного ПО (S19) через RS232 интерфейс (функция Bootloader)

Figure8 Wireless ZigBee стек

Конфигурация стека протокола ZigBee



Приложение

Спецификация Альянса ZigBee

Спецификация IEEE 802.15.4

Silicon IEEE 802.15.4

Компания Figure8 Wireless

F8W занимает лидирующие позиции на рынке программного обеспечения для беспроводных сетевых приложений 802.15.4/ZigBee

- Одной из первых предлагает полностью законченные решения для построения полнофункциональных сетей ZigBee спецификации V1.0
 - Построение сетей с топологиями «звезда», «кластерное дерево», «многоячейковая сеть»
 - Предлагает встроенные решения практически для всех устройств повседневной жизни
 - Решения для подключаемых ZigBee модулей в составе существующих систем (сокращение сроков и стоимости разработки беспроводных устройств)
 - Предлагает исходный код на языке Си, необходимый для сопряжения ПО ZigBee с требуемым МК
 - Гарантирует совместимость с другими сертифицированными ZigBee устройствами
 - Обеспечивает поддержку и обновления для приобретенного ПО
 - Поставляет полный набор документации (руководства пользователя, инструкция по разработке и т.д.)
 - Набор программных инструментариев для настройки и отладки ПО сетей ZigBee



Figure-8 Wireless Z-Stack

Z-Stack – Полная реализация спецификации альянса ZigBee V1.0

- **Реализация полноценного стека протоколов ZigBee версии 1.0**
- **Документация**
- **Исходный код для создания собственных профилей устройств и пример профиля устройств системы освещения**
- **Программа Z-Profile Builder для создания профилей ZigBee совместимых устройств**
 - Шаблоны профилей различного функционального назначения для создания профилей ZigBee совместимых устройств
 - Задание идентификаторов, параметров работы системы и устройств, параметры взаимодействия устройств разработчика и т.д.
 - Определение устройств на основе определенных разработчиком профилей
- **Программа Z-Configurator для автоматической настройки ZigBee совместимых устройств**
 - Объединяет приложения пользователей и готовые профили из программы Z-Profile Builder
 - Создает проект CodeWarrior для последующей его загрузки в МК HCS08
 - Определение типа устройства (RFD, FFD)
- **Программа Z-Trace для проверки и отладки работы системы и ZigBee совместимых устройств**
 - Создана по древовидному принципу для выполнения введенных вручную команд Launched by Motorola
 - Выводит информацию об отладке и трассировке программ отладочных комплектов **freescale** semiconductor

Программа Z-Trace

The screenshot displays the Z-Tool application interface. On the left, a tree view shows a project structure with folders for Messages, System, NWK, APS, GOF, ZDO, Devices, User Test, Sequencer, and Local. Under Messages, there are sub-folders for SYS_CALLBACK_SUBSCRIBE, SYS_PING, SYS_RAM_READ, SYS_RAM_WRITE, SYS_RESET, SYS_SET_DEBUG_THRESHOLD, SYS_TRACE_SUBSCRIPTION, and SYS_VERSION. The Log window shows a sequence of messages: SYS_PING, SYS_PING_RESPONSE, SYS_RAM_READ, SYS_RAM_READ_RESPONSE, SYS_VERSION, and SYS_VERSION_RESPONSE. The Script Status window shows the compilation of Z-Script_Example.js. A Notepad window displays the JavaScript code for Z-Script_Example.js, which includes utility functions and commands for sending ping, version, RAM write, and RAM read requests.

```
////////////////////////////////////// start of script ////////////////////////////////////////
// IMPORTANT!!! This must be first line in every script
Zscript_Sys.start();

var util:Utility = new Utility;

// Ping device
var rsp1:Zscript_Rsp = new Zscript_Rsp;

rsp1 = Zscript_Cmd.Send( "SYS_PING" );
// Process the response from the ping
util.DispRsp(rsp1);

// Get device firmware version
var rsp2:Zscript_Rsp = new Zscript_Rsp;

rsp2 = Zscript_Cmd.Send( "SYS_VERSION" );
// Process the response from the version read
util.DispRsp(rsp2);

// Write a value to a RAM location
var rsp3:Zscript_Rsp = new Zscript_Rsp;
var strAddr1:StringBuilder = new StringBuilder( "Address =
var nAddress1:short = 0x64;

strAddr1.Append(nAddress1);
rsp3 = Zscript_Cmd.Send( "SYS_RAM_WRITE",
strAddr1.ToString(),
"value = 127" );

// Process the response from the RAM write
util.DispRsp(rsp3);

// Read a value from a RAM location
var rsp4:Zscript_Rsp = new Zscript_Rsp;
var strAddr2:StringBuilder = new StringBuilder( "Address =
var nAddress2:short = 0x81;

strAddr2.Append(nAddress2);
rsp4 = Zscript_Cmd.Send( "SYS_RAM_READ",
strAddr2.ToString() );

// Process the response from the RAM read
util.DispRsp(rsp4);

// APSME_GET_REQUEST
var rsp5:Zscript_Rsp = new Zscript_Rsp;
var strAttrib:StringBuilder = new StringBuilder( "AIBAttrib
var bAttrib:byte = 0x01;

strAttrib.Append(bAttrib);
rsp5 = Zscript_Cmd.Send( "APSME_GET_REQUEST",
strAttrib.ToString() );

// Process the response from the APSME_GET_REQUEST
util.DispRsp(rsp5);
```

Type	System.UInt64
Name	DeviceAddress
Value	4660
HexValue	1234

Script Status: Loaded C:\Program Files\Figure 8 Wireless\Z-Tool\Test Scripts\Z-Script_Example.js
Compiling C:\Program Files\Figure 8 Wireless\Z-Tool\Test Scripts\Z-Script_Example.js
*** COMPILE OK ***

File: C:\Program Files\Figure 8 Wireless\Z-Tool\Test Scripts\Z-Script_Example.js Compiled

Примерные цены на программное обеспечение F8W

Z-Stack

- **90 дневная оценочная версия в составе комплекта EVK (\$1499)**
- **90 дневная оценочная версия доступна по запросу для пользователей отладочных комплектов DSK (SARD), RFC**
- **Однократный платеж за ПО**
 - \$1000 за одно рабочее место
 - \$12000 за компанию
- **Ежегодный платеж для обеспечения поддержкой и получения обновлений**
 - \$200 за одно рабочее место
 - \$2400 за компанию
- **Лицензионный исходный код**
 - **Примерная стоимость \$75k**

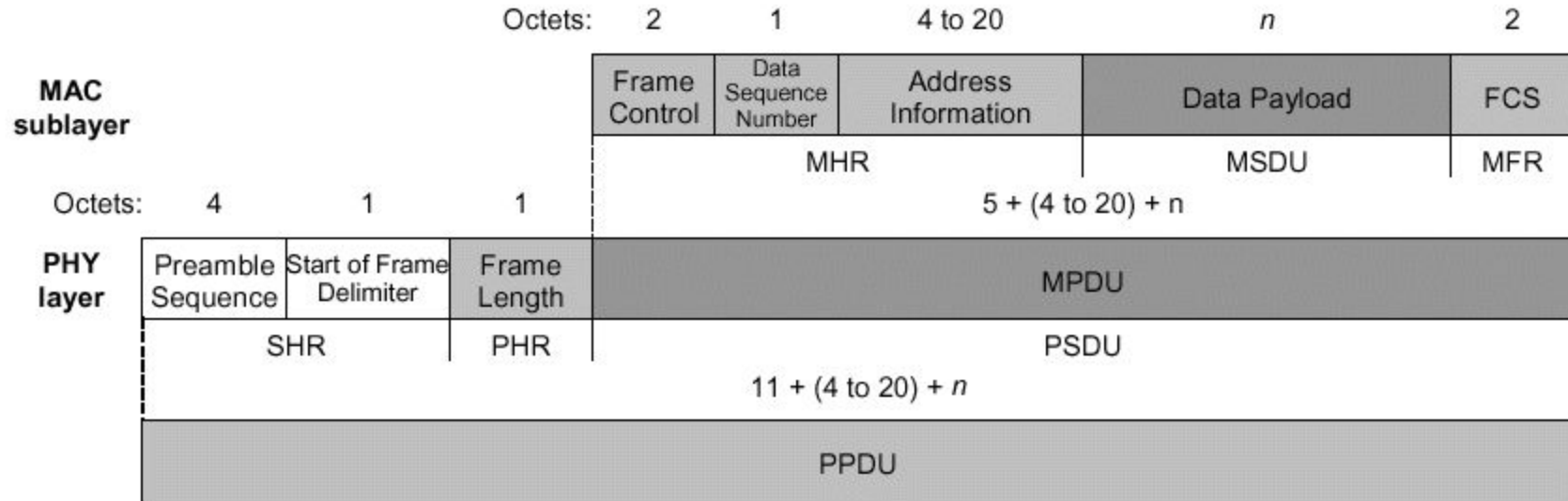
BACKUP SLIDES

Slide 77

Freescale Semiconductor Confidential Proprietary. Freescale™ and the Freescale logo are trademarks of Freescale Semiconductor, Inc. All other product or service names are the property of their respective owners. © Freescale Semiconductor, Inc. 2004

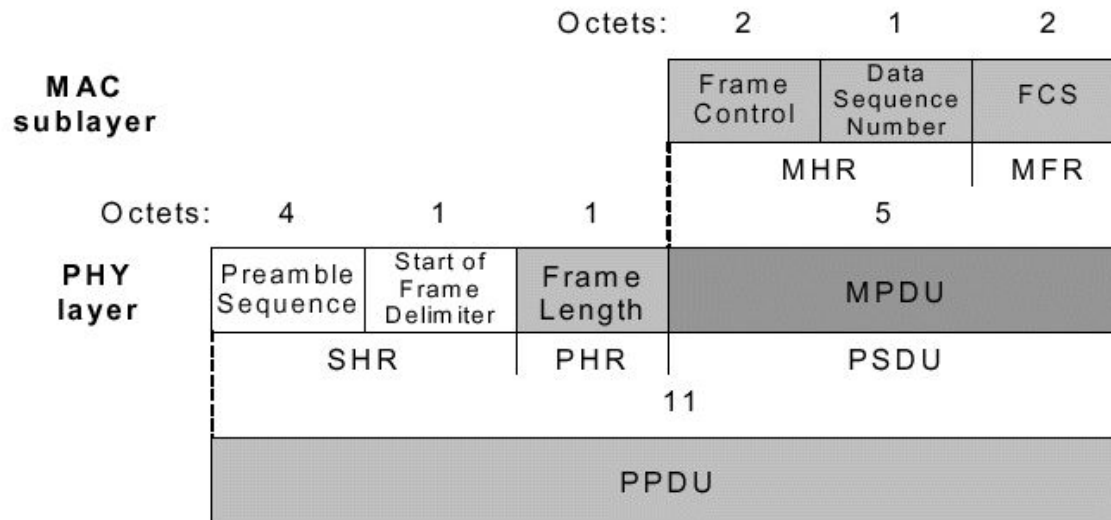


Формат пакета данных



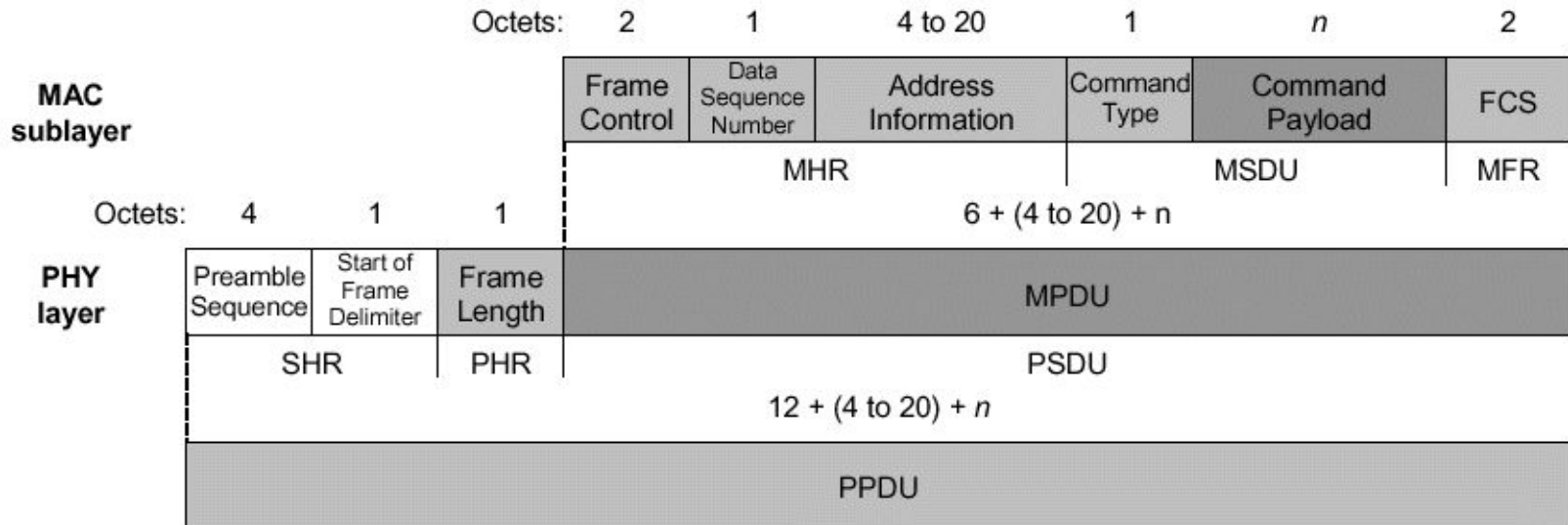
- Позволяет передавать до 104 байт данных
- Для контроля последовательности передаваемых пакетов используется нумерация пакетов (Data sequence number)
- Устойчивая структура обеспечивает высокое качество приема в условиях помех
- Контрольная последовательность кадра гарантирует безошибочную передачу (Frame Check Sequence - FCS)

Формат пакета подтверждения



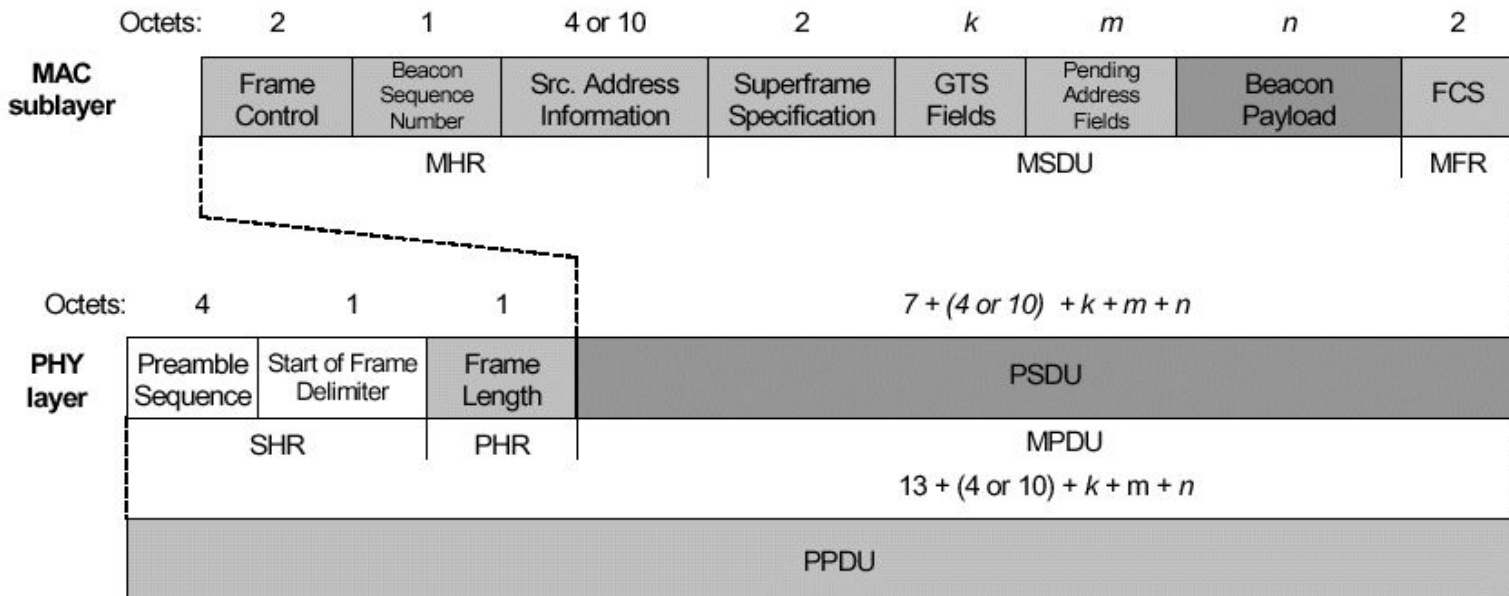
- Обеспечивает обратную связь от получателя к отправителю об успешной безошибочной передаче пакета данных
- Малая величина пакета обеспечивает увеличение времен нахождения в состоянии покоя сетевых устройств.
- Передача пакета подтверждения осуществляется сразу после получения пакета данных

Формат пакета MAC команды



- Используется для удаленного управления и конфигурирования сетевых устройств
- Плзволяет устройству централизованного администрирования сети конфигурировать по отдельности все сетевые подчиненные устройства вне зависимости от размеров сети

Формат сигнального пакета



- Сетевая синхронизация расширяет функциональные возможности сетей ZigBee
- Подчиненные устройства «просыпаются» только в периоды приема пакетов синхронизации, считывают адреса в пакете синхронизации и переходят в спящее состояние если адрес устройства не обнаружен
- Сигнальные пакеты необходимы для сетей типа «многоячейковая» и «кластерное дерево», обеспечивая синхронизацию всех сетевых устройств без необходимости каждым из устройств тратить электроэнергию своих автономных источников питания, «слушая» эфир в ожидании получения пакета