Беспроводные сенсорные сети

Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области
«Университет «Дубна»

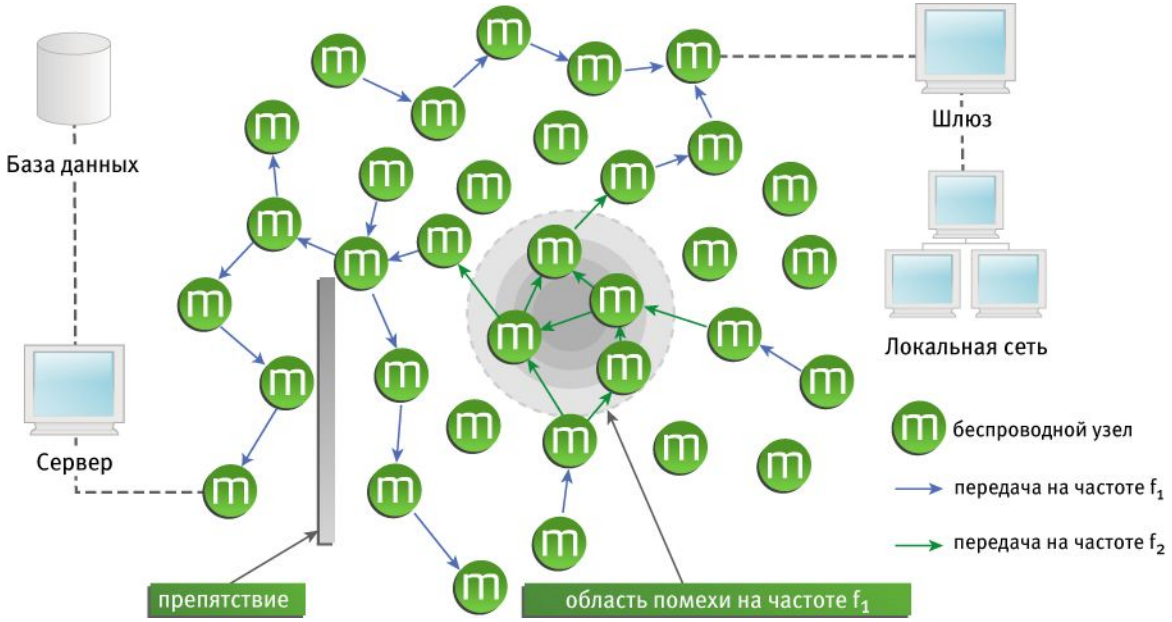
Филиал «Протвино»
Кафедра информационных технологий

Беспроводные сенсорные сети

Старший преподаватель
Ковцова Ирина Олеговна

Беспроводная сенсорная сеть

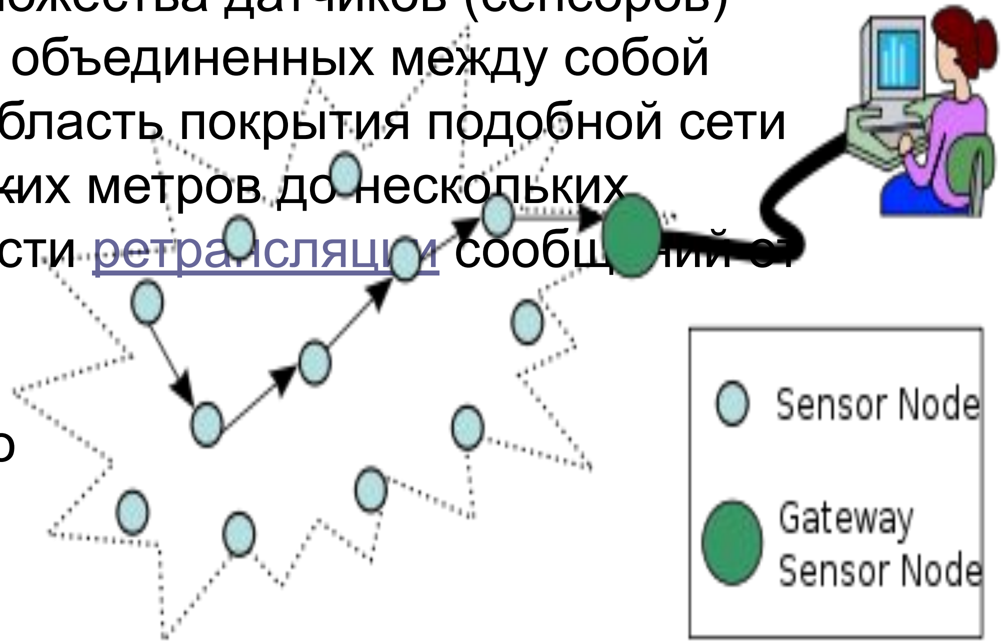
- Беспроводная сенсорная сеть (wireless sensor network) – беспроводная сеть с низкой скоростью передачи данных и сверхнизким энергопотреблением узлов
- Основная задача – сбор информации от распределенных в пространстве датчиков и передача команд управления



Беспроводная сенсорная сеть

- **Беспроводная сенсорная сеть** — распределённая, самоорганизующаяся сеть — распределённая, самоорганизующаяся сеть множества датчиков — распределённая, самоорганизующаяся сеть множества датчиков (сенсоров — распределённая, самоорганизующаяся сеть множества датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств, объединенных между собой посредством радиоканала. Область покрытия подобной сети может составлять от нескольких метров до нескольких километров за счёт способности ретрансляции сообщений от одного элемента к другому.

Датчик (*сенсор*, от англ. *sensor*) — понятие в системах управления — чувствительный элемент измерительного, сигнального, регулирующего или управляющего устройства системы, преобразующий измеряемую величину в удобный для использования сигнал.



Исполни́тельное устро́йство

- **Исполни́тельное устро́йство** — устройство системы автоматического управления или регулирования, воздействующее на процесс в соответствии с получаемой командной информацией. Состоит из двух функциональных блоков: исполнительного механизма и регулирующего органа и может оснащаться дополнительными блоками.[1]
- Под исполнительным устройством в теории автоматического управления понимают устройство, передающее воздействие с управляющего устройстваПод исполнительным устройством в теории автоматического управления понимают устройство, передающее воздействие с управляющего устройства на объект управленияПод исполнительным устройством в теории автоматического управления понимают устройство, передающее воздействие с управляющего устройства на объект управ
части
быть
сигна

Радиоканал

- **Ра́дио** (лат. *radio* — излучаю, испускаю лучи ← *radius* — луч) — разновидность беспроводной связи — луч) — разновидность беспроводной связи, при которой в качестве носителя сигнала — луч) — разновидность беспроводной связи, при которой в качестве носителя сигнала используются радиоволны, свободно распространяемые в пространстве.

- **Радиоизлуче́ние** (радиово́лны, радиочастоты (радиово́лны, радиочастоты) — электромагнитное излучение (радиово́лны, радиочастоты) — электромагнитное излучение с длинами волн $5 \cdot 10^{-5}$—10^{10} метров и частотами, соответственно, от $6 \cdot 10^{12}$ Гц и до нескольких Гц.Радиоволны используются при передаче данных Гц и до нескольких Гц. Радиоволны используются при передаче данных в радиосетях. Радиоизлучение – это передача информации на расстояние с

Беспроводная сенсорная сеть

- Беспроводные сенсорные сети (wireless sensor networks) состоят из миниатюрных вычислительно-коммуникационных устройств — мотов (*от англ.* motes — пылинки), или сенсоров.
- Мот представляет собой плату размером обычно не более одного кубического дюйма.
- На плате размещаются процессор, память — флэш и оперативная, цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи, радиочастотный приемопередатчик, источник питания и датчики.

Основные моменты

- Датчики могут быть самыми разнообразными; они подключаются через цифровые и аналоговые коннекторы.
- Чаще других используются датчики температуры, давления, влажности, освещенности, вибрации, реже — магнитоэлектрические, химические (например, измеряющие содержание CO, CO2), звуковые и некоторые другие.
- Набор применяемых датчиков зависит от функций, выполняемых беспроводными сенсорными сетями.
- Питание мота осуществляется от небольшой батареи.
- Моты используются только для сбора, первичной обработки и передачи сенсорных данных.

Основные моменты

- Основная функциональная обработка данных, собираемых мотами, осуществляется на узле, или шлюзе, который представляет собой достаточно мощный компьютер.
- Но для того, чтобы обработать данные, их нужно сначала получить.
- Для этой цели узел обязательно оснащается антенной.
- Но в любом случае доступными для узла оказываются только моты, находящиеся достаточно близко от него; другими словами, узел не получает информацию непосредственно от каждого мота.

Основные моменты

- Проблема получения сенсорной информации, собираемой мотами, решается следующим образом.
- Моты могут обмениваться между собой информацией с помощью приемопередатчиков, работающих в радиодиапазоне. Это, во-первых, сенсорная информация, считываемая с датчиков, а во-вторых, информация о состоянии устройств и результатах процесса передачи данных.
- Информация передается от одних мотов другим по цепочке, и в итоге ближайшие к шлюзу моты сбрасывают ему всю аккумулированную информацию.
- Если часть мотов выходит из строя, работа сенсорной сети после реконфигурации должна продолжаться.
- Но в этом случае, естественно, уменьшается число источников информации.

Основные моменты

- Для выполнения функций на каждый мот устанавливается специализированная операционная система.
- В настоящее время в большинстве беспроводных сенсорных сетей используется TinyOS — ОС, разработанная в Университете Беркли.
- TinyOS относится к программному обеспечению с открытым кодом; оно доступно по адресу: www.tinyos.net.
- TinyOS — это управляемая событиями операционная система реального времени, рассчитанная на работу в условиях ограниченных вычислительных ресурсов.
- Эта ОС позволяет мотам автоматически устанавливать связи с соседями и формировать сенсорную сеть заданной топологии.

Основные моменты

- Важнейшим фактором при работе беспроводных сенсорных сетей является ограниченная емкость батарей, устанавливаемых на моты.
- Следует учитывать, что заменить батареи чаще всего невозможно.
- В связи с этим необходимо выполнять на мотах только простейшую первичную обработку, ориентированную на уменьшение объема передаваемой информации, и, что самое главное, минимизировать число циклов приема и передачи данных.
- Для решения этой задачи разработаны специальные коммуникационные протоколы, наиболее известными из которых являются протоколы альянса ZigBee.

ZigBee

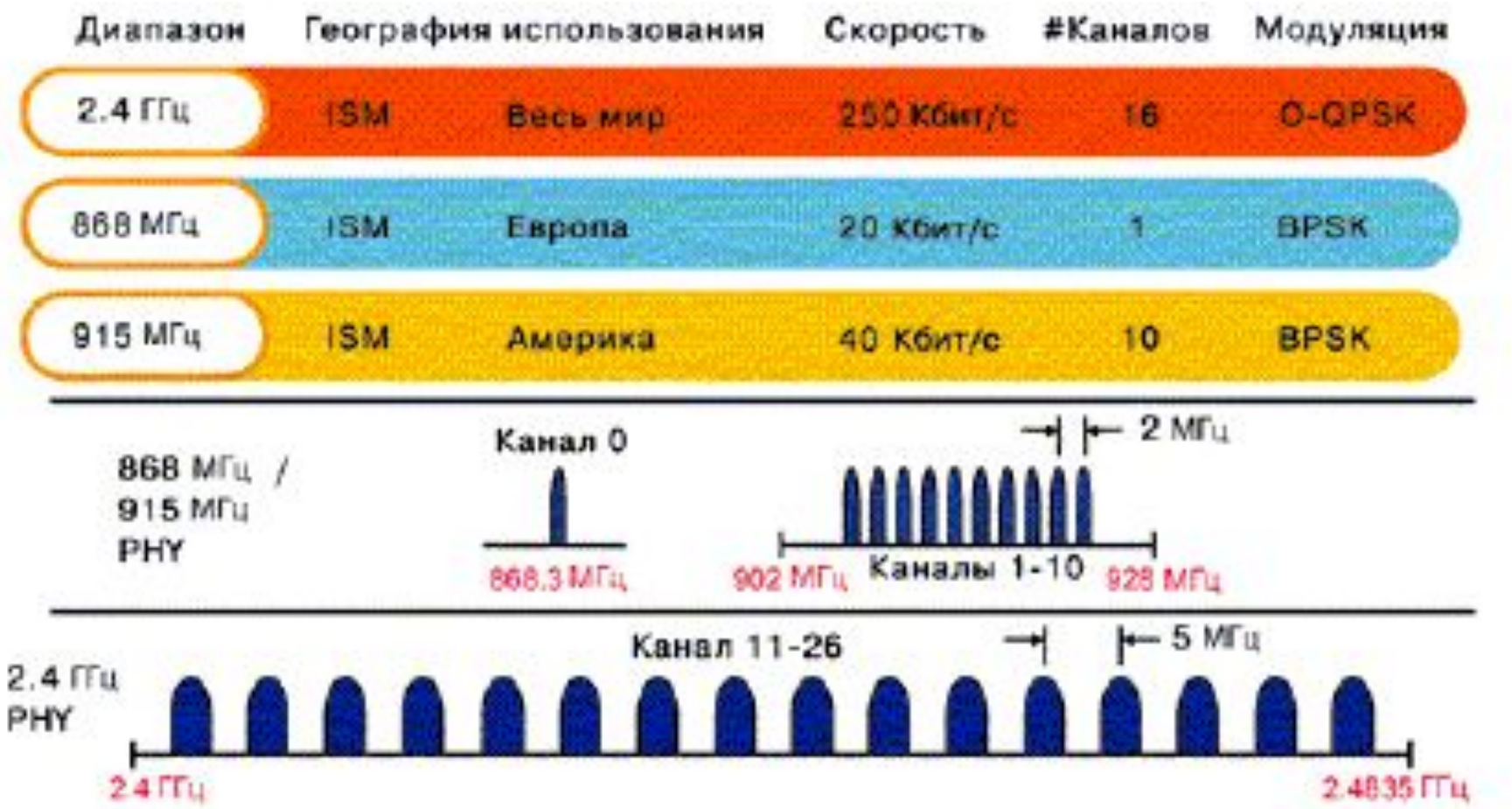
- Данный альянс (сайт www.zigbee.org) был создан в 2002 году именно для координации работ в области беспроводных сенсорных сетей.
- В него вошли крупнейшие разработчики аппаратных и программных средств: Philips, Ember, Samsung, IBM, Motorola, Freescale Semiconductor, Texas Instruments, NEC, LG, OKI и многие другие (всего более 200 членов). Корпорация Intel в альянс не входит, хотя и поддерживает его деятельность.

- В принципе, для выработки стандарта, в том числе стека протоколов для беспроводных сенсорных сетей, ZigBee использовал разработанный ранее стандарт IEEE 802.15.4, который описывает физический уровень и уровень доступа к среде для беспроводных сетей передачи данных на небольшие расстояния (до 75 м) с низким энергопотреблением, но с высокой степенью надежности. Некоторые характеристики радиопередачи данных для стандарта IEEE 802.15.4

Таблица 1. Характеристики радиопередачи данных для IEEE 802.15.4

Полоса частот, МГц	Нужна ли лицензия	Географический регион	Скорость передачи данных, Кбит/с	Число каналов
868,3	Нет	Европа	20	1
902-928	Нет	Америка	40	1-10
2405-2480	Нет	Весь мир	250	11-26

Краткая характеристика стандарта IEEE 802.15.4

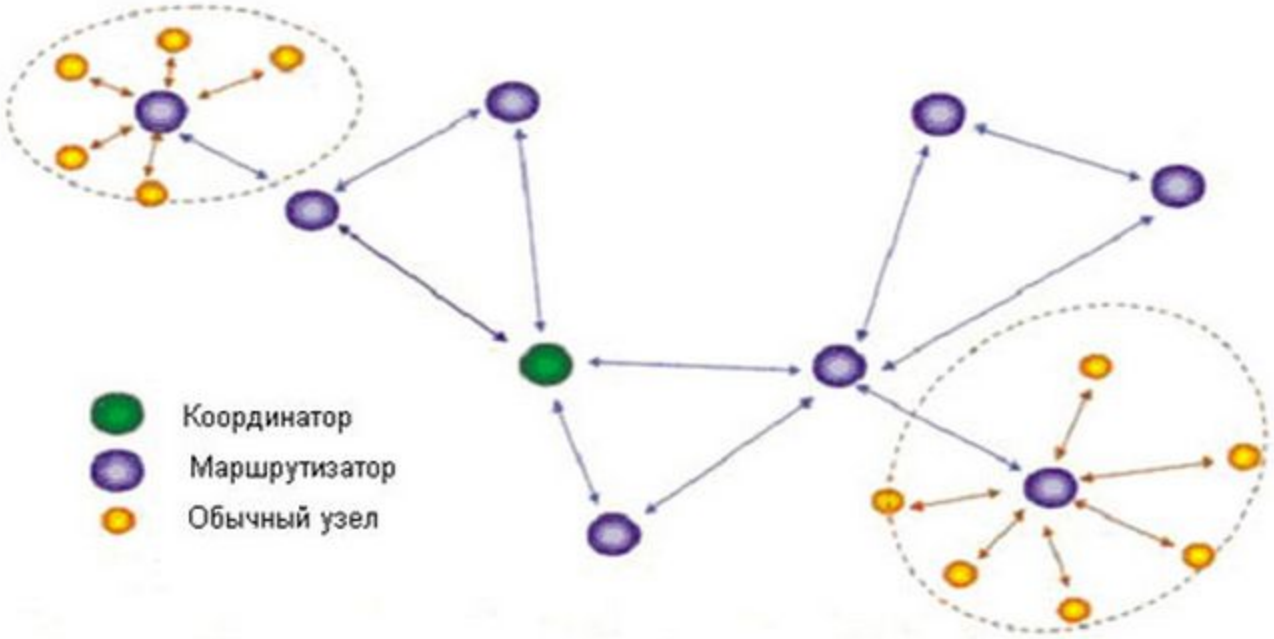


- Очевидно, что разработать схемы обмена данными между сотнями и даже тысячами мотов не так-то просто.
- Наряду с прочим необходимо учесть тот факт, что сенсорные сети работают в нелицензированных частотных диапазонах, поэтому в ряде случаев могут возникать помехи, создаваемые посторонними источниками радиосигналов.
- Желательно также избегать повторной передачи одних и тех же данных, а кроме того, учитывать, что из-за недостаточной энергоемкости и внешних воздействий моты будут выходить из строя навсегда или на какое-то время.
- Во всех таких случаях схемы обмена данными должны модифицироваться.
- Поскольку одной из важнейших функций TinyOS является автоматический выбор схемы организации сети и маршрутов передачи данных, беспроводные сенсорные сети по существу являются самонастраиваемыми.

- Чаще всего мот должен иметь возможность самостоятельно определить свое местоположение, по крайней мере по отношению к тому другому моту, которому он будет передавать данные. То есть сначала происходит идентификация всех мотов, а затем уже формируется схема маршрутизации. Вообще все моты — устройства стандарта ZigBee — по уровню сложности разбиваются на три класса.
- Высший из них — координатор — управляет работой сети, хранит данные о ее топологии и служит шлюзом для передачи данных, собираемых всей беспроводной сенсорной сетью, для дальнейшей обработки. В сенсорных сетях обычно используется один координатор.
- Средний по сложности мот является маршрутизатором, то есть может принимать и передавать данные, а также определять направления передачи.
- И наконец, самый простой мот может лишь передавать данные ближайшему маршрутизатору.

- ***Координатор*** запускает сеть и управляет ею. Он формирует сеть, выполняет функции центра управления сетью и доверительного центра (trust-центра) – устанавливает политику безопасности, задает настройки в процессе присоединения устройств к сети, ведает ключами безопасности.
  Маршрутизатор транслирует пакеты, осуществляет динамическую маршрутизацию, восстанавливает маршруты при перегрузках в сети или отказе какого-либо устройства. При формировании сети маршрутизаторы присоединяются к координатору или другим маршрутизаторам, и могут присоединять дочерние устройства – маршрутизаторы и конечные устройства. Маршрутизаторы работают в непрерывном режиме, имеют стационарное питание и могут обслуживать «спящие» устройства. Маршрутизатор может обслуживать до 32 спящих устройств.
  Конечное устройство может принимать и отправлять пакеты, но не занимается их трансляцией и маршрутизацией. Конечные устройства могут подключаться к координатору или маршрутизатору, но не могут иметь дочерних устройств.
  Конечные устройства могут переводиться в спящий режим для экономии заряда аккумуляторов. Именно конечные устройства имеют дело с датчиками, локальными контроллерами и исполнительными механизмами.

- Таким образом, получается, что стандарт ZigBee поддерживает сеть с кластерной архитектурой. Кластер образуют маршрутизатор и простейшие моты, у которых он запрашивает сенсорные данные. Маршрутизаторы кластеров ретранслируют данные друг другу, и в конечном счете данные передаются координатору. Координатор обычно имеет связь с IP-сетью, куда и направляются данные для окончательной обработки.



Формирование сети

- Сеть ZigBee – самоорганизующаяся, и ее работа начинается с формирования. Устройство, назначенное при проектировании координатором персональной сети (PAN координатор), определяет канал, свободный от помех, и ожидает запросов на подключение.
- Устройства, пытающиеся присоединиться к сети, рассылают широковещательный запрос. Пока PAN координатор – единственное устройство в сети, отвечает на запрос и предоставляет присоединение к сети только он. В дальнейшем присоединение к сети могут предоставлять также присоединившиеся к сети маршрутизаторы.
- Устройство, получившее ответ на широковещательный запрос, обменивается с присоединяющим устройством сообщениями, чтобы определить возможность присоединения. Возможность определяется способностью присоединяющего маршрутизатора обслужить новые устройства в дополнение к ранее подключенным.

Вступление в сеть (присоединение)

- Существует два способа присоединения: MAC ассоциация и повторное сетевое присоединение

MAC ассоциация

- MAC ассоциация доступна любому устройству ZigBee и осуществляется на MAC уровне. **Механизм MAC ассоциации следующий:**
  Устройство, позволяющее присоединиться к нему, выставляет на MAC уровне разрешение на присоединение.
  Устройство, вступающее в сеть, выставляет на MAC уровне запрос на присоединение и передает широковещательный запрос маячка.
  Получив маячок от устройств, готовых подключить присоединяемое устройство, последнее определяет, в какую сеть и к какому устройству оно желает присоединиться, и выставляет на MAC уровне требование о вступлении с флажком «повторное присоединение» в значении FALSE.
  Затем вступающее устройство направляет на выбранное для присоединения устройство запрос присоединения и получает ответ с присвоенным ему сетевым адресом.
  При MAC ассоциации данные передаются не зашифрованными, поэтому MAC ассоциация не является безопасной.

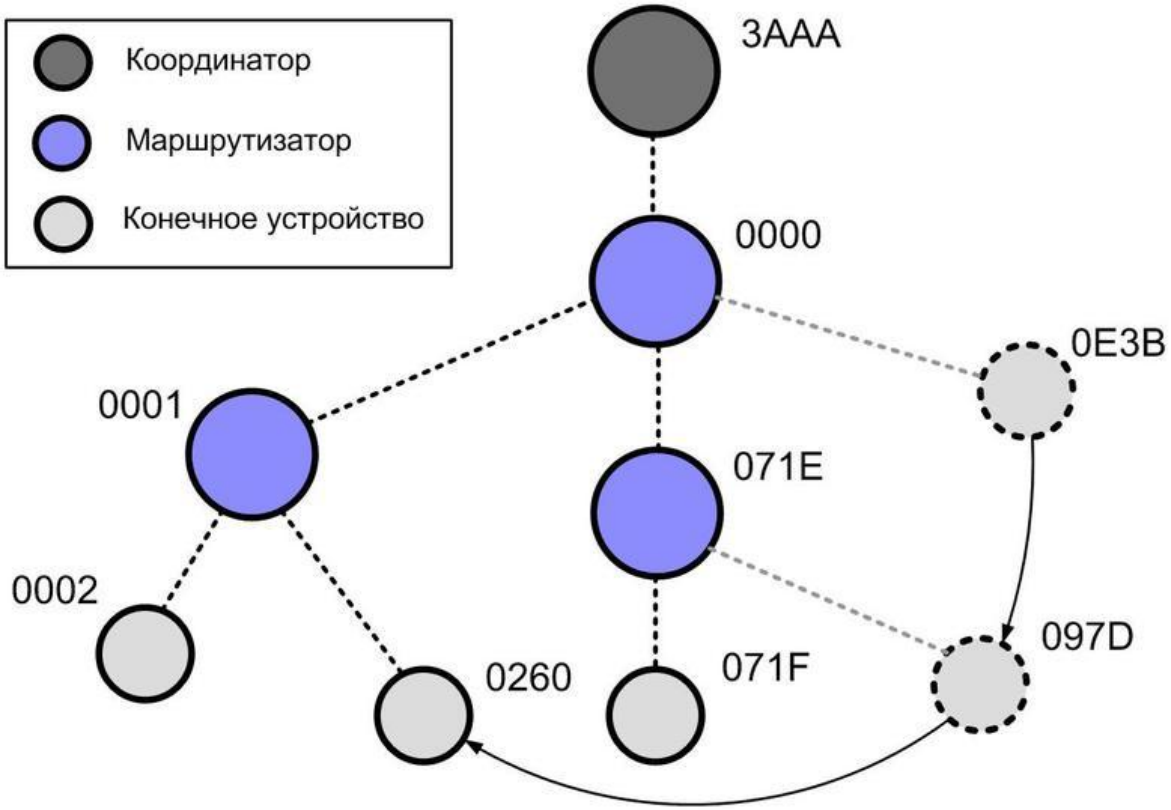
Повторное сетевое присоединение

- Повторное сетевое присоединение вопреки названию может применяться и при первичном присоединении.
- Оно выполняется на сетевом уровне. При этом, если вступающее устройство знает текущий сетевой ключ, обмен пакетами может быть безопасным. Ключ может быть получен, например, при настройке.
- При повторном подключении присоединяющееся устройство выставляет на сетевом уровне запрос присоединения и обменивается с подключающим устройством пакетами «запрос присоединения» – «ответ на запрос присоединения».

Динамика сети

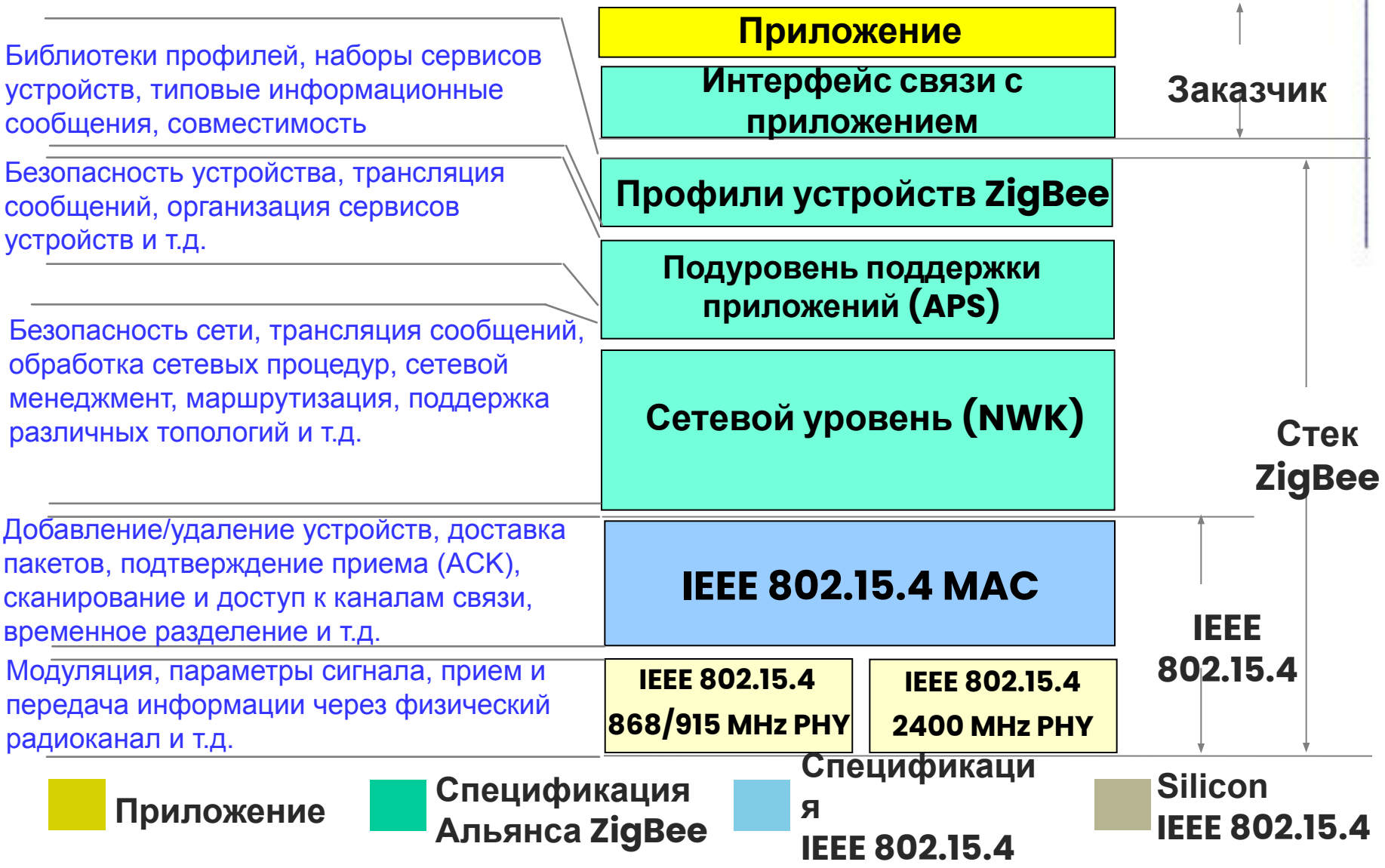
- Кроме случаев присоединения новых устройств структура сети меняется и в случаях, когда устройства покидают сеть и повторно присоединяться в других местах (это происходит, например, в случае перезагрузки устройства).

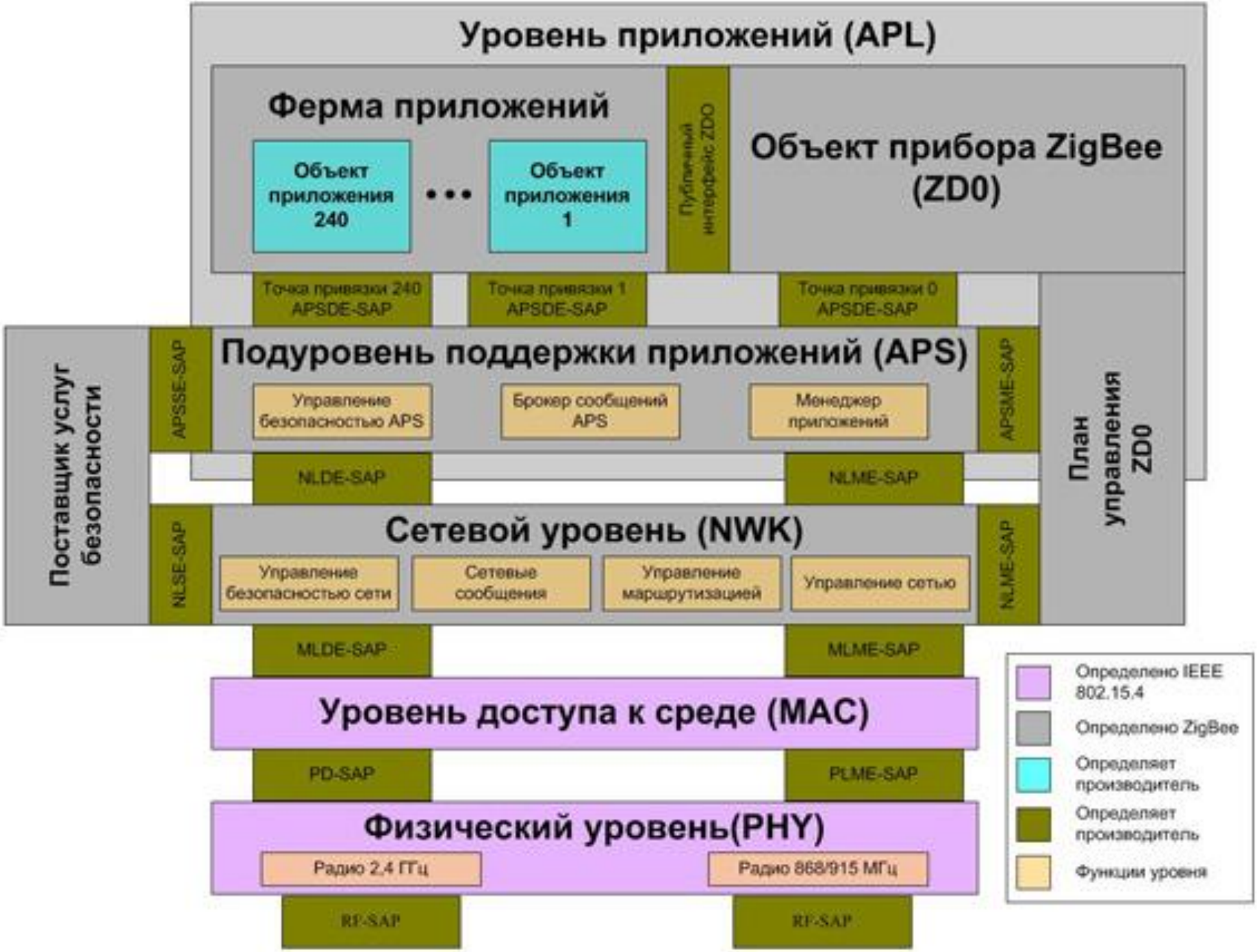
- На рисунке ниже – пример переподключения. Устройство с адресом «0E3B» переподключается как «097D», а затем как «0260». Каждый раз оно присоединяется к другому маршрутизатору и получает адрес из имеющегося в распоряжении присоединяющего маршрутизатора диапазона адресов.



- Стандарты IEEE 802.15.4 и ZigBee 2007 Specification определяют стандартизированные протоколы, которые обеспечивают сетевую инфраструктуру, необходимую для беспроводных сетевых приложений с большим числом датчиков и исполнительных механизмов.
- IEEE 802.15.4 определяет физический и MAC уровни, а ZigBee определяет сетевой уровень и уровень приложений.

Конфигурация стека протокола ZigBee




Уровень приложений (APL)
Ферма приложений
Объект приложения 240
Объект приложения 1
Публичный интерфейс ZDO
Объект прибора ZigBee (ZD0)
Точка привязки 240 APSDE-SAP
Точка привязки 1 APSDE-SAP
Точка привязки 0 APSDE-SAP
Поставщик услуг безопасности
APSSE-SAP
Подуровень поддержки приложений (APS)
Управление безопасностью APS
Брокер сообщений APS
Менеджер приложений
APSME-SAP
План управления ZD0
NLDE-SAP
NLME-SAP
NLSE-SAP
Сетевой уровень (NWK)
Управление безопасностью сети
Сетевые сообщения
Управление маршрутизацией
Управление сетью
NLME-SAP
MLDE-SAP
MLME-SAP
Уровень доступа к среде (MAC)
PD-SAP
PLME-SAP
Физический уровень(PHY)
Радио 2,4 ГГц
Радио 868/915 МГц
RF-SAP
RF-SAP
Определено IEEE 802.15.4
Определено ZigBee
Определяет производитель
Определяет производитель
Функции уровня

Стек протоколов ZigBee

- Спецификация ZigBee регламентирует стек протоколов взаимодействия узлов сети, в котором протоколы верхних уровней используют сервисы, предоставляемые протоколами ниже лежащих уровней.
- Уровень приложений (APL) состоит из фермы приложений (Application Framework), объекта устройства ZigBee (ZD0) и подуровня поддержки приложений (APS)
- ***Ферма приложений*** (Application Framework) содержит описание порядка создания профилей в стеке ZigBee, гарантирующего их совместимость, а также определяет:
  - стандартные типы данных для профилей,
  - дескрипторы, помогающие в обнаружении служб,
  - форматы кадров для транспортировки данных и
  - значения пар ключей.
- Это позволяет быстро разрабатывать простые профили на основе атрибутов.

Стек протоколов ZigBee

- ***Объекты приложений*** (Application Objects) – программные модули, управляющие устройствами ZigBee в конечных точках. Одна базовая станция ZigBee может поддерживать до 240 объектов приложений. Объекты приложений поддерживают конечные точки, пронумерованные от 1 до 240. Конечная точка 0 зарезервирована для объекта устройства ZigBee (ZD0).
- ***Объект устройства ZigBee*** (ZigBee Device Object – ZD0):
  - определяет роль устройства ZigBee: координатор, маршрутизатор или конечное устройство;
  - инициирует запросы поиска и присоединения и/или отвечает на такие запросы;
  - устанавливает безопасную связь между устройствами ZigBee.
- Он также предоставляет богатый набор команд управления, определяемых в профиле устройства ZigBee (используются при вводе в эксплуатацию).

Стек протоколов ZigBee

- ***План управления ZD0*** (ZD0 Management Plane) поддерживает связь ZD0 с подуровнем поддержки приложений (APS) и сетевым уровнем (NWK). Позволяет ZD0 обрабатывать запросы приложений на доступ к сети и обеспечение безопасности, используя сообщения профиля устройства ZigBee (ZigBee Device Profile – ZDP).
- ***Подуровень поддержки приложений*** (Application Support Sublayer – APS). Отвечает за предоставление данных приложениям и профилям устройства ZigBee. Подуровень также управляет присоединениями в сети ZigBee и хранит данные о таких присоединениях в своей таблице.
- ***Поставщик услуг безопасности*** (Security Service Provider – SSP) обеспечивает механизмы безопасности для уровней, использующих шифрование – NWK и APS. Инициируется и конфигурируется объектом устройства ZD0.

Стек протоколов ZigBee

- ***Сетевой уровень*** (Network Layer – NWK) обрабатывает сетевые адреса и маршрутизацию по вызовам MAC уровня. В его задачи также входят:
  - запуск сети (если устройство является координатором);
  - присвоение сетевых адресов;
  - добавление и удаление сетевых устройств;
  - маршрутизация сообщений;
  - применение политики безопасности;
  - осуществление поиска маршрутов.

Точки доступа

- Связь между элементами стека протоколов ZigBee осуществляется через точки доступа к услугам (service access point – SAP):

  APSDE-SAP – к данным подуровня поддержки приложений;
  APSME-SAP – к управлению подуровнем поддержки приложений;
  APSSE-SAP – к управлению безопасностью подуровня поддержки приложений;
  NLDE-SAP – к данным сетевого уровня;
  NLME-SAP – к управлению сетевым уровнем;
  NLSE-SAP – к управлению безопасностью сетевого уровня;
  MLDE-SAP – к данным подуровня MAC;
  MLME-SAP – к управлению подуровнем MAC;
  PD-SAP – к данным физического уровня PHY;
  PLME-SAP – к управлению физическим уровнем PHY;
  RF-SAP – к трансмиттеру.

Уровни, определяемые стандартом IEEE 802.15.4

- ***Уровень управления доступом к среде*** (Medium Access Control Layer – MAC) отвечает за надежную связь устройства с непосредственными соседями, помогает разрешать коллизии и повышать эффективность. MAC уровень отвечает также за ассемблирование и декомпозицию кадров и пакетов данных.
- ***Физический уровень*** (Physical Layer – PHY) обеспечивает интерфейс к физической среде передачи – радио. Физический уровень состоит из двух уровней, работающих в разных диапазонах частот. Уровень, работающий при меньших частотах, покрывает диапазоны 868 МГц для Европы и 915 МГц для таких стран, как США и Австралия. Высокочастотный физический уровень работает на частоте 2,4 ГГц и применяется практически во всем мире.

Профиль стека

- Стандарт ZigBee описывает профиль стека, который определяет сеть, службы приложений и параметры безопасности для всей сети.
- Профиль стека для конкретной ZigBee сети выбирается сетевым администратором (проектировщиком), исходя из области применения (автоматизация здания, управление техпроцессом, позиционирование).
- Каждый такой профиль стека затем будет определять сетевые параметры, такие как:
  - общие размеры сети,
  - поддерживаемые алгоритмы маршрутизации,
  - размеры таблиц маршрутизации и привязки приложений,
  - характер службы безопасности для этой сети.

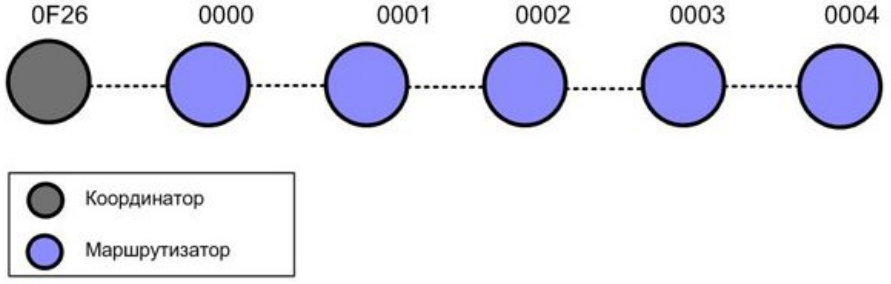
Профиль стека

- Особый интерес с точки зрения топологии сети представляет спецификация трех параметров:
- максимальная глубина сети (nwkMaxDepth),
- максимальное количество дочерних связей маршрутизатора (nwkMaxChildren),
- максимальное количество связей с дочерними маршрутизаторами (nwkMaxRouters).
- Вместе они определяют общую структуру сети.

- В соответствии со стандартом IEEE 802.15.4 каждое сетевое устройство имеет 64-разрядный (длинный) IEEE адрес, который уникально идентифицирует это устройство.
- Чтобы продлить жизнь аккумуляторных батарей, для сокращения размеров пакетов, и соответственно времени активного взаимодействия устройств используются более короткие адреса.
- Стандарт ZigBee требует, чтобы обмен сообщениями после присоединения к сети выполнялся с 16-битными (короткими) сетевыми адресами.
- 16-битный сетевой адрес присваивается вновь присоединяемым устройствам во время обмена сообщениями в процессе присоединения.

Типы сетей

- Одной из важных особенностей сетей ZigBee является возможность выбора топологии сети, в наибольшей мере отвечающей конкретному применению. Точная структура сети ZigBee в большинстве случаев не может быть заранее предопределена, так как зависит от взаимного расположения устройств и прохождения радиоволн во время формирования сети.
- Однако три упомянутых параметра профиля стека будут диктовать общую структуру (топологию) сети.
- Например, если приложение имеет устройства, физически расположенные в линию (например, вдоль конвейера), установка параметров nwkMaxChildren=1 и nwkMaxRouters=1 создаст линейную структуру.

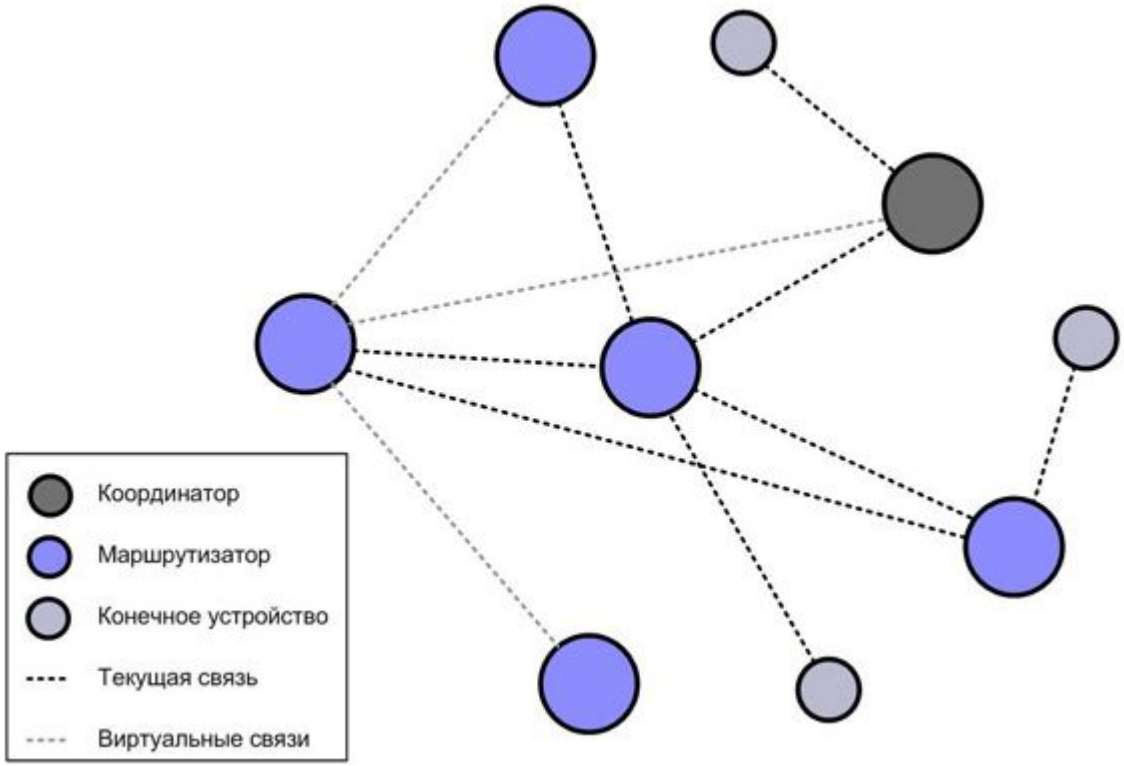


Топология ячеистой сети

- Наиболее перспективной в сети ZigBee является ячеистая топология (mesh-топология).
- Ячеистая сеть – это сеть взаимосвязанных маршрутизаторов и конечных устройств, в которой каждый маршрутизатор имеет, по крайней мере, две связи и может транслировать сообщения своих соседей. Как показано на рис. 3, ячеистая сеть состоит из одного координатора и нескольких маршрутизаторов и конечных устройств.
- В такой сети каждое устройство может связываться с любым другим устройством как напрямую, так и через промежуточные узлы сети. Ячеистая топология поддерживает «многошаговую» (multi-hop) связь, при которой данные проходят шагами от одного устройства к другому, используя наиболее надежные линии связи и наиболее эффективные маршруты, пока не достигнут цели.

Топология ячеистой сети

- Способность к многошаговой передаче помогает обеспечить живучесть сети (способность к самовосстановлению). Если одно из устройств отказывает или оказывается под воздействием помех, сеть способна перемаршрутизироваться, используя оставшиеся устройства.



Отличие ZigBee

- Принципиальное отличие сетей ZigBee от других беспроводных сетей, таких как IEEE 802.11/WiFi, в том, что вместо централизованной звездообразной структуры сети ZigBee допускают иерархию присоединения к сети. В результате может быть достигнуто несколько уровней присоединения. Такая иерархия устройств служит для создания истинно беспроводных сетей.
- Для сравнения, IEEE 802.11/WiFi предлагает технологию точки беспроводного доступа: беспроводное подключение производится между, скажем, ноутбуком или телевизором и точкой доступа, которая не является беспроводным маршрутизатором. Поэтому далее поток данных направляется на провода (например, по проводной сети к другим проводным устройствам или к другой точке беспроводного доступа). Сеть ZigBee способна доставлять пакеты полностью по беспроводной сети через несколько промежуточных беспроводных устройств.

Преимущества ячеистой топологии

- Ячеистая топология обладает высокой живучестью и надежностью. Если какой-либо маршрутизатор становится недоступным, могут быть найдены и использованы альтернативные маршруты.
- Использование промежуточных устройств при передаче данных делает ячеистую сеть широко масштабируемой.
- Слабые сигналы и мертвые зоны могут быть легко исключены простым добавлением дополнительных маршрутов.

Экономии энергии

- Для экономии энергии большая часть компонентов сенсорных устройств почти всегда находится в выключенном состоянии, поэтому используются различные вариации в связности сети, учитывая, кроме того, реальную возможность отказов устройств по причине сложных природных условий эксплуатации.
- Двух батареек «АА» обычно хватает для поддержания работоспособности ZigBee-оборудования в течение нескольких месяцев (а в некоторых случаях до 2-х лет). В среднем значения параметров питания выглядят следующим образом:

Напряжение питания	2.8 — 3.4 В
Ток в режиме приема	50мА @ 3.3 В
Ток в режиме передачи	45-270мА @ 3.3В
Ток в спящем режиме	< 10 мкА

Основные особенности

- Масштабируемость
  - большое количество узлов в сети (~10^2…10^4)
- Энергетическая эффективность
  - длительный срок службы автономных источников электропитания
- Самоорганизация
  - снижение затрат на первоначальную настройку и сопровождение сети
- Многоячейковая (mesh) топология
  - гибкость при развертывании сети
  - отказоустойчивость в процессе эксплуатации

Основные преимущества

- Отсутствие необходимости в прокладке кабелей для электропитания и передачи данных
- Низкая стоимость монтажа, пуско-наладки и технического обслуживания системы
- Минимальные ограничения по размещению беспроводных устройств
- Возможность внедрения и модификации сети на эксплуатируемом объекте без вмешательства в процесс его функционирования
- Надежность и отказоустойчивость всей системы в целом при нарушении отдельных соединений между узлами

Области применения

- Автоматизация зданий
  - контроль климатического оборудования
  - управление освещением
  - управление энергоснабжением

- Промышленная автоматизация
  - контроль и диагностика оборудования
  - мониторинг производственных процессов
  - телеметрия для исследований и испытаний

- Безопасность и оборона
  - охранно-пожарная сигнализация
  - контроль периметра и удаленное наблюдение
  - мониторинг строительных конструкций

Области применения

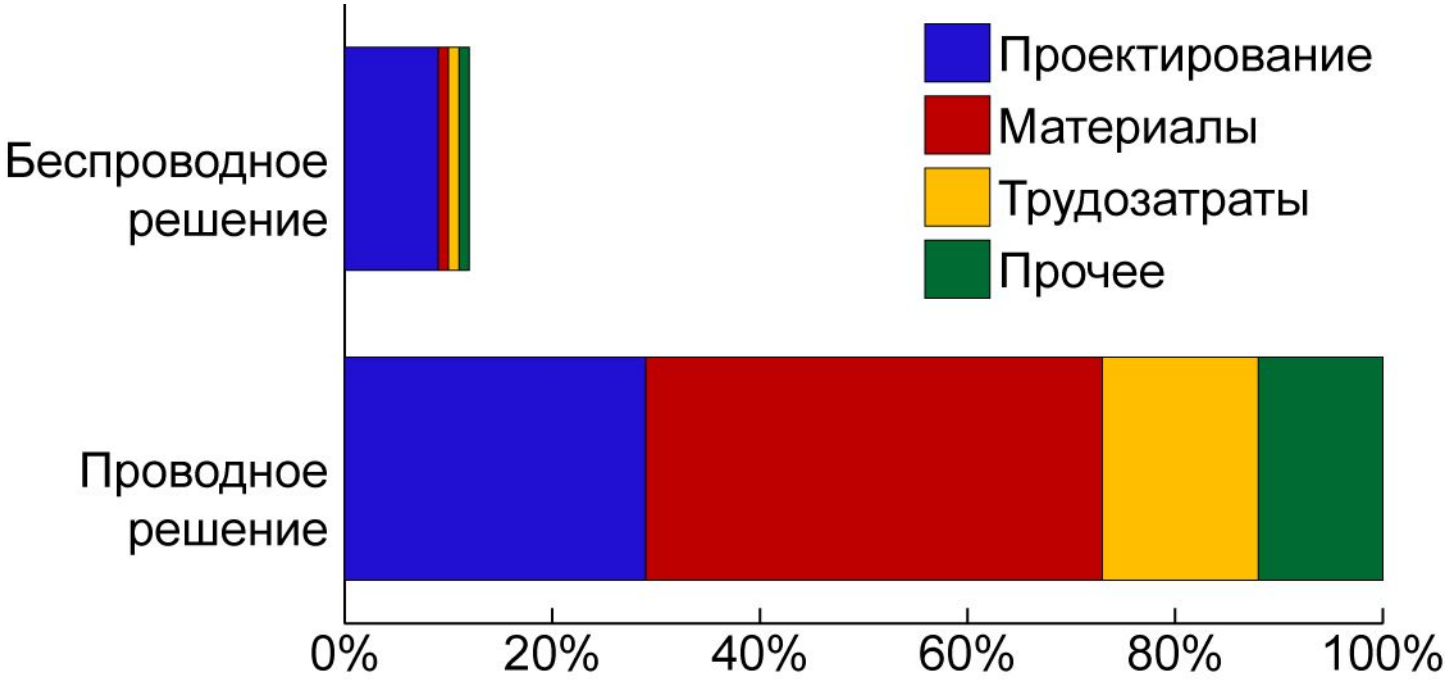
- Применение WSN многочисленно и разнообразно.
- Они используются в коммерческих и промышленных системах для мониторинга данных, которые трудно или дорого контролировать с использованием проводных датчиков.
- WSN могут использоваться в трудно досягаемых районах, где они могут оставаться в течение многих лет (мониторинг экологических переменных окружающей среды) без необходимости заправки / замены источников питания.
- Они могут контролировать действия нарушителей (мгновенная передача информации от одного узла к другому).

Области применения

- Обычно WSN используют для мониторинга, отслеживания и контроля. Некоторые специальные приложения - мониторинг, прослеживание объекта, ядерное реакторное управление, противопожарная безопасность, контроль трафика, и др. При обычном применении WSN разбросана в регионе, где происходит сбор данных через сенсорные узлы.
  - Экологический мониторинг
  - Мониторинг окружающей среды
  - Управление энергоснабжением;
  - Акустическое обнаружение
  - Сейсмическое обнаружение
  - Военное наблюдение
  - Медицинский мониторинг
  - Мониторинг пространств
  - Мониторинг процесса
  - Наблюдения за состоянием здоровья

Экономическая эффективность

- Затраты на установку беспроводной системы могут быть на 90% ниже по сравнению с традиционным проводным решением*



* по информации компании Emerson Process Management для продуктов серии Smart Wireless

Практическая реализация

Элементная база:

- Интегральные радиочастотные приемопередатчики ISM-диапазонов с малыми габаритами, стоимостью и энергопотреблением
- Микроконтроллеры с достаточными ресурсами (~10 кБ ОЗУ, ~100 кБ ПЗУ, ~10 МГц тактовая частота), низкими энергопотреблением и ценой

Основные сложности реализации:

- Поддержка различных топологий (точка-точка, звезда, многоячейковая сеть)
- Множественный доступ к среде с минимизацией активности в радиоканале
- Маршрутизация пакетов с оптимизацией сетевого трафика
- Временная синхронизация между узлами сети
- Защита от несанкционированного доступа к сети
- Ограниченные объем памяти и вычислительная мощность узлов
- Оценка характеристик сети для конкретного объекта

Стеки сетевых протоколов

Название	Физический уровень	Особенности
Открытые стандарты		
ZigBee	IEEE 802.15.4	▪ домашние и офисные приложения ▪ низкая надежность в сложных условиях
WirelessHART	IEEE 802.15.4	▪ промышленная автоматизация ▪ дополнение стандарта HART
ISA 100.11a	IEEE 802.15.4	▪ промышленная автоматизация ▪ более универсален относительно WirelessHART
Закрытые проприетарные платформы		
SmartMesh (Dust Networks, США)	IEEE 802.15.4	▪ функция определения местоположения узлов ▪ является основой промышленных стандартов
MeshScape (Millennial Net, США)	IEEE 802.15.4 и др.	▪ высокая надежность ▪ поддержка различных приемопередатчиков
MeshLogic («МешЛоджик», РФ)	Cypress WirelessUSB IEEE 802.15.4 и др.	▪ российская разработка ▪ простота использования
Специализированные решения		
SimpliciTI Wireless M-Bus ANT	Приемопередатчики ISM-диапазонов	▪ простота использования ▪ узкая специализация

Основные критерии оценки

- Есть ли разделение узлов по функциональному типу (оконечное устройство, маршрутизатор и т.п.)?
- Есть ли поддержка mesh-топологии?
- Каким образом определяются маршруты доставки данных (ручная настройка, автоматически централизовано или децентрализовано)?
- Могут ли маршрутизаторы переходить в режим пониженного энергопотребления?
- Есть ли возможность аналитически оценить среднее энергопотребление узла в различных условиях?
- Какие есть ограничения на масштаб сети (число узлов, диаметр сети)?
- Есть ли возможность портирования сетевого стека на различные приемопередатчики и микроконтроллеры?

Компании-лидеры мирового рынка

Производители электронных компонентов		
Компания	**Продукт**	**Примечание**
Texas Instruments	Z-Stack (ZigBee) SimpliciTI	▪ приемопередатчики и системы-на-кристалле для ISM-диапазонов (в т.ч. стандарта IEEE 802.15.4)
Ember	EmberZNet (ZigBee)	▪ системы-на-кристалле стандарта IEEE 802.15.4
Atmel	BitCloud (ZigBee) ZigBit	▪ приемопередатчики и системы-на-кристалле стандарта IEEE 802.15.4 ▪ модули

Компании-лидеры мирового рынка

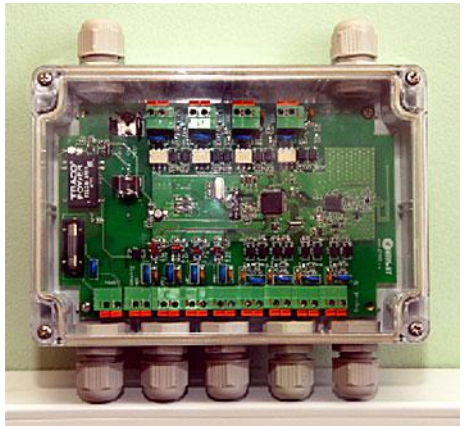
Производители OEM-модулей с интегрированным сетевым стеком		
Компания	**Продукт**	**Примечание**
Dust Networks	SmartMesh	▪ системы-на-кристалле ▪ модули
Millennial Net	MeshScape	▪ модули
Digi International	XBee ZigBee XBee DigiMesh	▪ модули

Компании-лидеры мирового рынка

Производители готовых продуктов		
Компания	**Продукт**	**Примечание**
Wireless Sensors	SensiNet	▪ беспроводные датчики и адаптеры для датчиков ▪ шлюз ▪ программное обеспечение
MicroStrain	mXRS	▪ беспроводные узлы для внешних датчиков ▪ шлюз ▪ программное обеспечение
Emerson	Smart Wireless	▪ беспроводные датчики ▪ шлюз

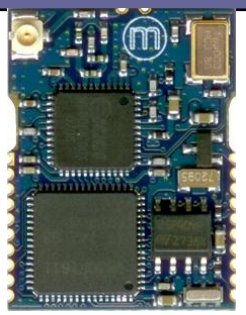
Российские компании

Компания	Продукция / услуги	Примечание
MeshNetics	▪ сетевой стек ZigBee ▪ радиомодули ▪ услуги по разработке систем	▪ ориентация на мировой рынок ▪ в 2009 г. куплена Atmel
ИТМиВТ им. С. А. Лебедева	▪ сетевой стек SNAP (модификация ZigBee) ▪ беспроводные узлы для внешних датчиков ▪ услуги по разработке систем	▪ ориентация на госзаказ
МешЛоджик	▪ сетевой стек MeshLogic ▪ радиомодули ▪ беспроводные узлы для внешних датчиков ▪ шлюз и программное обеспечение ▪ услуги по разработке систем	▪ ориентация на открытый рынок



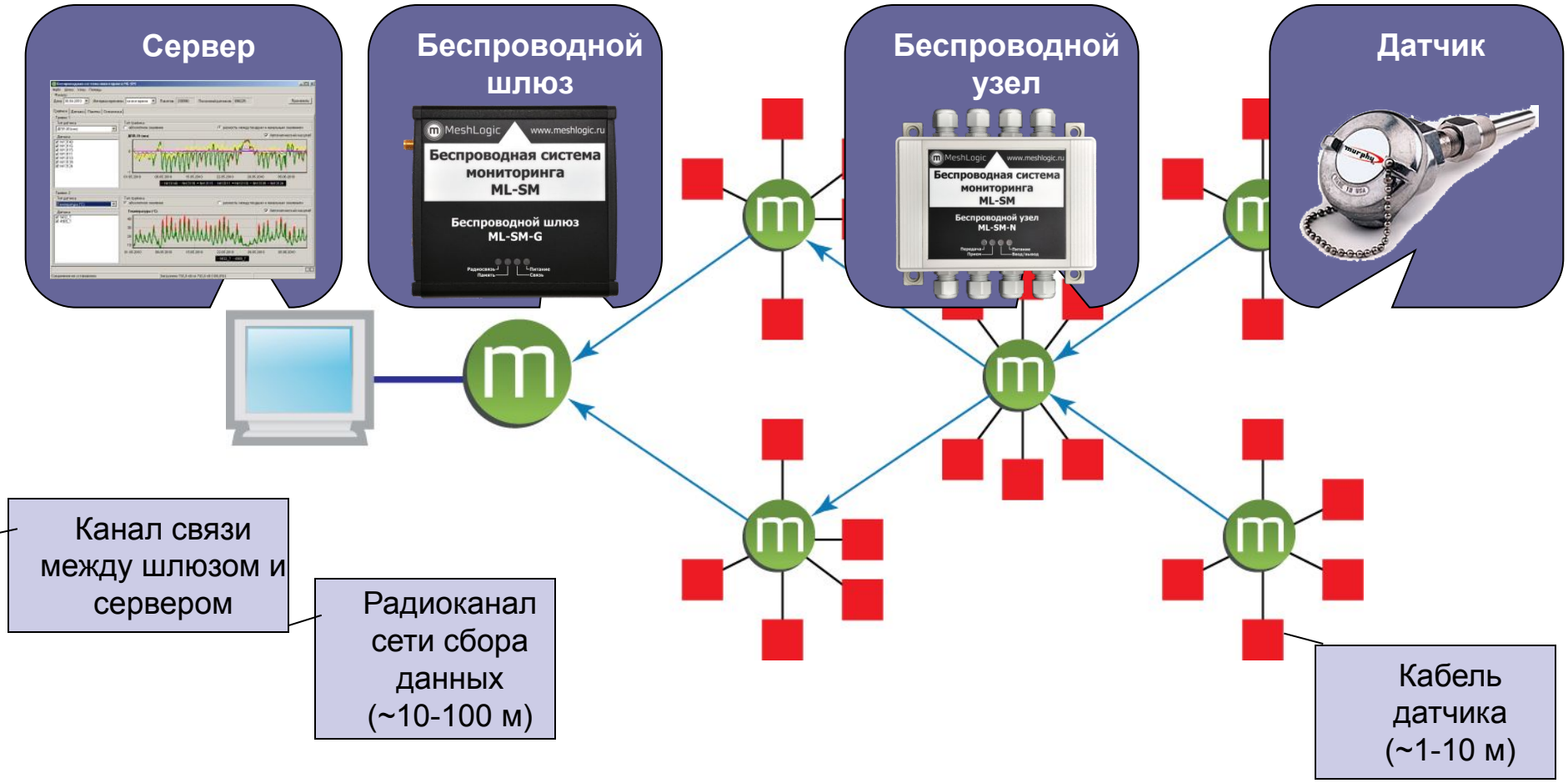
Решения MeshLogic: OEM-модули

- Радиомодули предназначены для интеграции в устройства пользователя и позволяют самостоятельно создавать беспроводные системы сбора данных на основе технологии MeshLogic

Наименование	Элементная база	
Модуль с выходной мощностью 1 мВт	▪ MSP430F1611 ▪ CC2420	
Модуль с выходной мощностью 100 мВт (аппаратная платформа производства LS Research)	▪ MSP430F5437 ▪ CC2520 ▪ CC2591	
Отладочный комплект		

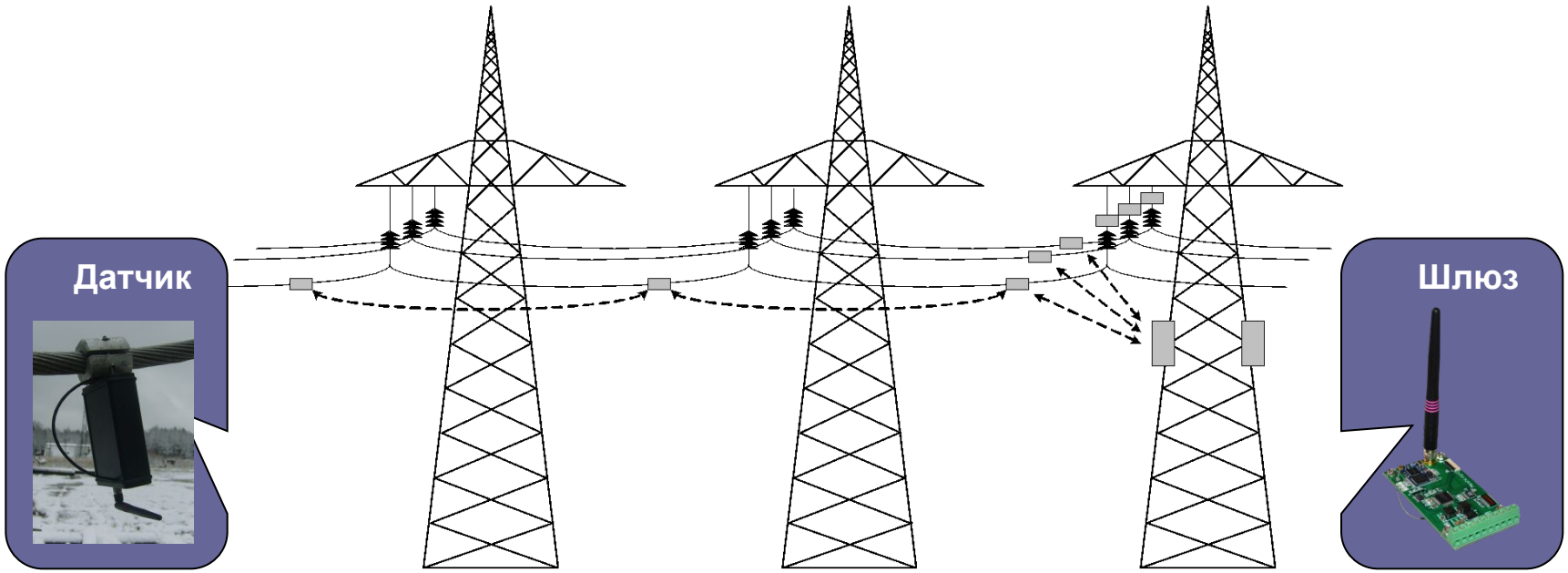
Решения MeshLogic: готовая система

- Беспроводная система мониторинга предназначена для организации сетей сбора данных от распределенных датчиков



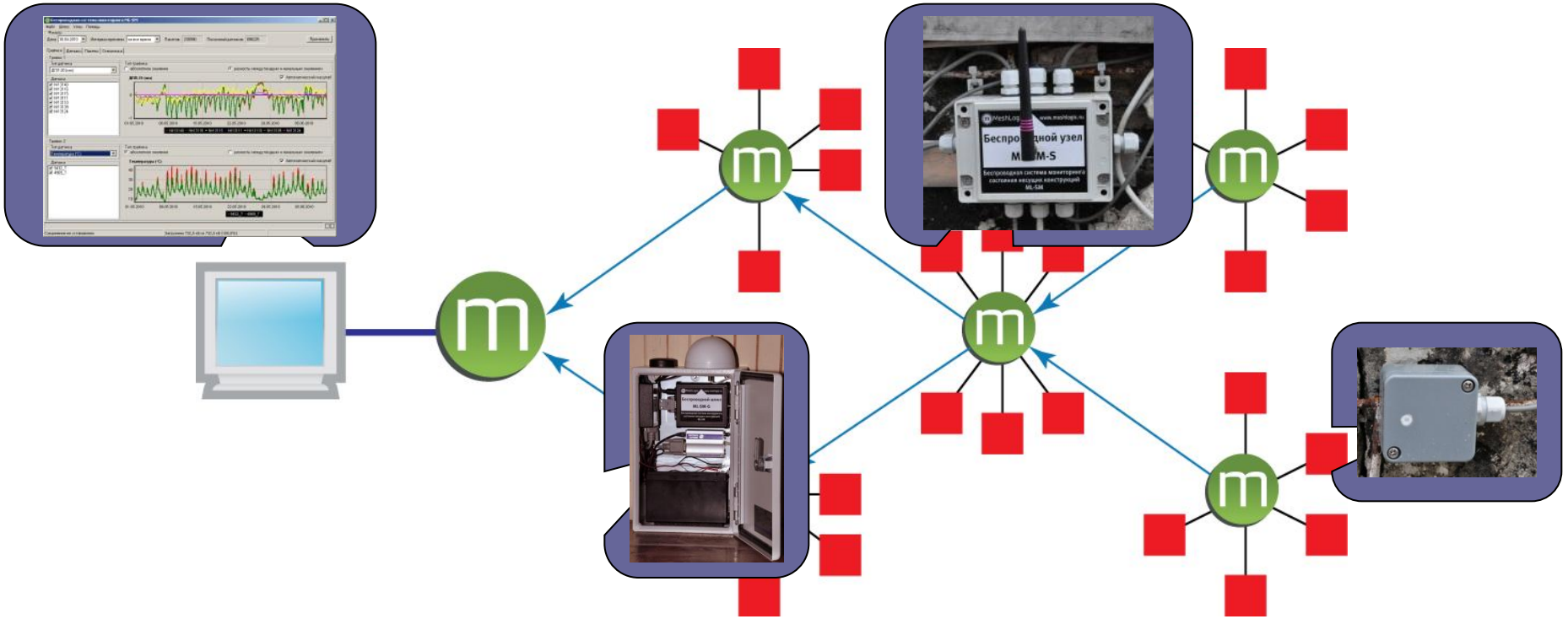
Примеры применения: энергетика

- Беспроводная система измерения температуры фазных проводов и грозотроса
- Применяется в составе автоматизированной системы обнаружения гололедообразования и плавки гололеда на высоковольтных ЛЭП



Примеры применения: строительство

- Беспроводная система мониторинга технического состояния зданий и сооружений
- Применяется для непрерывного контроля структурной целостности и напряженно-деформированного состояния строительных конструкций для своевременного обнаружения дефектов и принятия мер по их устранению с целью предупреждения опасности обрушения



Перспективы российского рынка

- Нефтегазовая отрасль
  - Автоматизация объектов нефтедобычи
  - Обнаружение утечек на нефтепроводах

- Энергетическая отрасль
  - Контроль параметров воздушных высоковольтных ЛЭП
  - Мониторинг режимов работы оборудования подстанций

- Строительная отрасль
  - Мониторинг состояния зданий и сооружений