

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Системы ввода/вывода

Лекция 4. Беспроводные линии связи

Быковский С.В.

e-mail: [sergei\\_bykovskii@itmo.ru](mailto:sergei_bykovskii@itmo.ru)

# Темы лекции (Беспроводные линии связи)

- **Каналы передачи данных**
  - Инфракрасные
  - Узкополосные
  - Широкополосные
- **Стандарты и интерфейсы беспроводной передачи данных**
  - ZigBee, XBee
  - Bluetooth
  - Wi-Fi
  - LoRaWAN
- **Спутниковая и сотовая связь**

# Инфракрасный канал

**Инфракрасный канал** — канал, в котором информация передается посредством модулированного света с длиной волны около 800 нм.

## Особенности:

- Устойчив к электромагнитным помехам
- Не проходит через препятствия (стены и т.п.)
- Низкое энергопотребление источника и передатчика
- Зависит от параметров окружения (влажность, осадки и др.)

## Спецификации интерфейсов IrDA

- |                                     |                            |
|-------------------------------------|----------------------------|
| 1. <b>SIR</b> 9,6–115,2 Кбит/с      | 4. <b>VFIR</b> 16 Мбит/с   |
| 2. <b>HDLC</b> 0,576 и 1,152 Мбит/с | 5. <b>UFIR</b> 96 Мбит/с   |
| 3. <b>FIR</b> 4 Мбит/с              | 6. <b>Giga-IR</b> 1 Гбит/с |

## Узкополосный канал

**Узкополосный сигнал** – это сигнал, вся мощность которого концентрируется на одной частоте и занимает небольшой диапазон радиочастотного спектра

### Особенности

- Высокий уровень создаваемых помех
- Необходим мощный передатчик

### Примеры

- АМ-, FM-радио



# Широкополосный канал

**Широкополосный сигнал** – это шумоподобный сигнал (ШПС), занимающий большой диапазон частот.

## Особенности

- Низкий уровень создаваемых помех
- Необходимы дополнительные манипуляции по расширению спектра

## Методы расширения спектра

- DSSS
- FHSS

## Примеры

- ZigBee
- Bluetooth
- Wi-Fi



## Метод DSSS

**DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)** – расширение спектра методом прямой последовательности.

- Вся используемая полоса частот делится на некоторое число подканалов (например, в стандарте 802.11 11 каналов).
- Каждый передаваемый бит информации превращается, по заранее зафиксированному алгоритму, в последовательность из 11 бит, и эти 11 бит передаются одновременно и параллельно, используя все 11 подканалов.
- Каждая пара приемника и передатчика имеет свою систему кодировки.
- Пример использования: **Wi-Fi**

## Метод FHSS

**FHSS (Frequency-Hopping Spread Spectrum)** – расширение спектра методом частотных скачков.

- Вся отведенная для передач полоса частот подразделяется на некоторое количество подканалов (по стандарту 802.11 этих каналов 79).
- Каждый передатчик в каждый данный момент использует только один из этих подканалов, регулярно перескакивая с одного подканала на другой.
- Скачки происходят синхронно на передатчике и приемнике в заранее зафиксированной псевдослучайной последовательности, известной обоим.
- Пример использования: **Bluetooth**

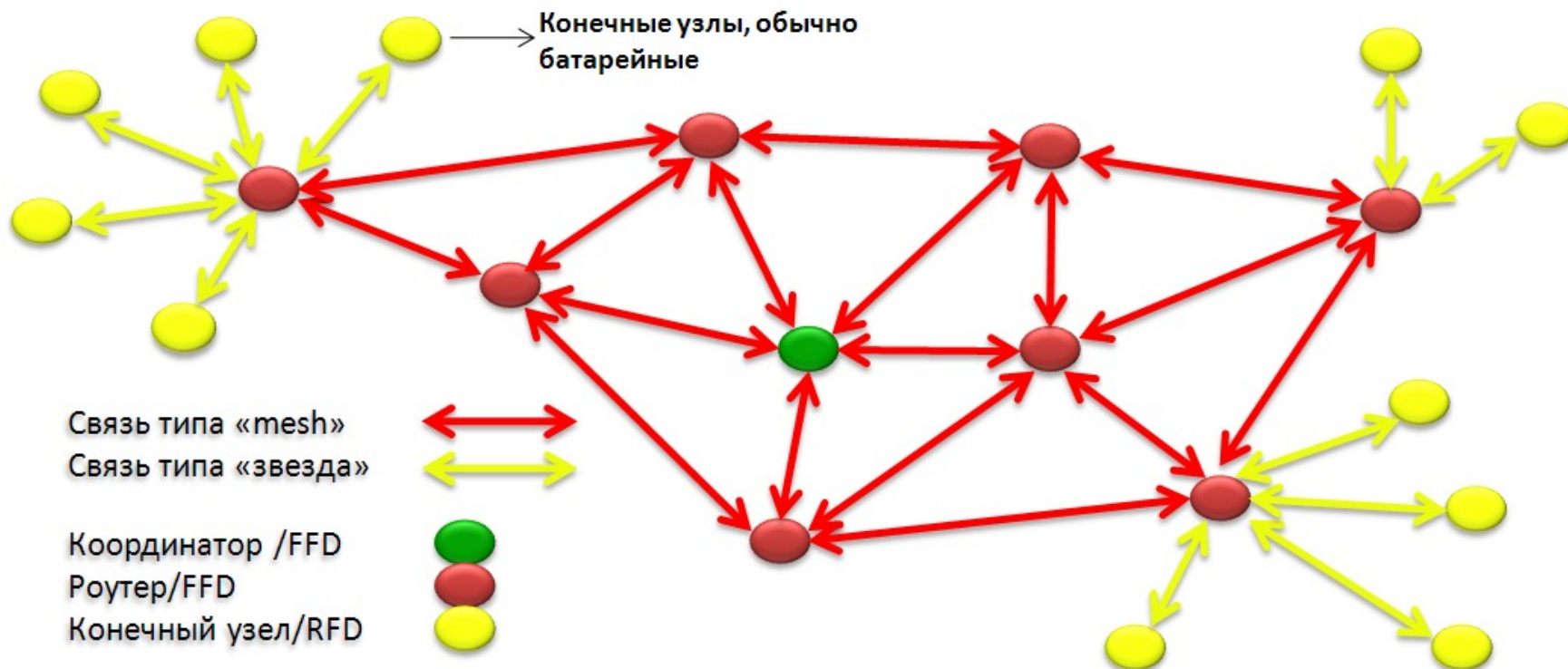


## ZigBee

- ✓ ZigBee — протокол верхнего уровня, базирующийся на беспроводном стандарте IEEE 802.15.4.
- ✓ У истоков протокола стоит организация ZigBee Alliance, отвечающая за его развитие и продвижение, а также за сертификацию оборудования.



## Zig-Bee. Mesh-топология





## Zig-Bee. Типы узлов сети

- ✓ **Координатор** запускает сеть и управляет ею, устанавливает политику безопасности.
- ✓ **Маршрутизатор (роутер)** транслирует пакеты, осуществляет динамическую маршрутизацию, восстанавливает маршруты при перегрузках в сети или отказе какого-либо устройства.
- ✓ **Конечное устройство** может принимать и отправлять пакеты, но не занимается их трансляцией и маршрутизацией.



## Zig-Bee. Дальность, скорость, энергопотребление

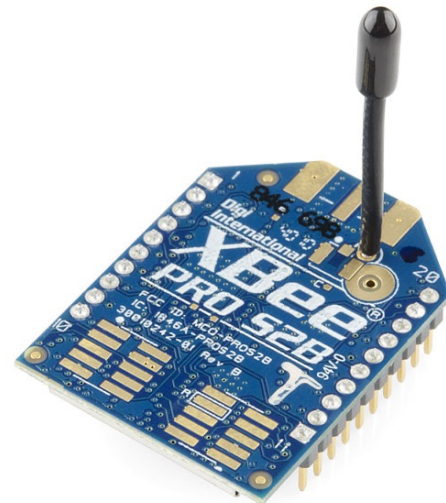
- ✓ Расстояние между рабочими станциями сети составляет десятки метров внутри помещений и сотни метров на открытом воздухе.
- ✓ «Брутто» скорость (включая служебную информацию) составляет 250 кбит/с. Средняя скорость передачи полезных данных, в зависимости от загрузки сети и числа ретрансляций, составляет от 5 до 40 кбит/с.
- ✓ Устройства ZigBee отличаются низким электропотреблением, в особенности конечные устройства, для которых предусмотрен режим «сна», что позволяет этим устройствам работать до трех лет от одной обычной батарейки AA или AAA;

## Zig-Bee. Сфера применения

- ✓ Системы автоматизации жизнеобеспечения домов и строений (удаленное управление сетевыми розетками, выключателями, реостатами и т. д.).
- ✓ Системы управления бытовой электроникой.
- ✓ Системы автоматического снятия показаний с различных счетчиков (газа, воды, электричества и т. д.).
- ✓ Системы безопасности (датчики задымления, датчики доступа и охраны, датчики утечки газа, воды, датчики движения и т. д.).
- ✓ Системы мониторинга окружающей среды (датчики температуры, давления, влажности, вибрации и т. д.).
- ✓ Системы промышленной автоматизации.

# X-Bee

- ✓ Полноценные ZigBee-модули, поддерживающие спецификацию ZigBee-2007 и позволяющих построить mesh-сеть, включающую спящие и мобильные устройства.
- ✓ Максимальная пропускная способность примерно равна 35 кбит/с
- ✓ Основным режимом работы модулей X-Bee — это работа под управлением внешнего микроконтроллера, управляющего модулем с помощью простых AT-команд или упорядоченных структур данных (режим API)





## Х-Вее. Варианты использования

- ✓ Работа с внешними датчиками, которые выдают значения параметров в виде аналогового напряжения или имеют выходы с двумя состояниями — «включено/выключено»
- ✓ ХВее-модуль напрямую сопрягается с любыми устройствами, имеющими UART-интерфейс
- ✓ При самостоятельной работе ХВее-модуль может передавать данные по заданному расписанию, отправляя их через определенные промежутки времени, или по изменению состояния сигнала на цифровом порту
- ✓ В сетях с mesh-топологией данные будут доходить до узла сбора информации с переменной задержкой, которую необходимо учитывать при принятии решения о недоставке сообщения и, соответственно, повторных попытках передачи

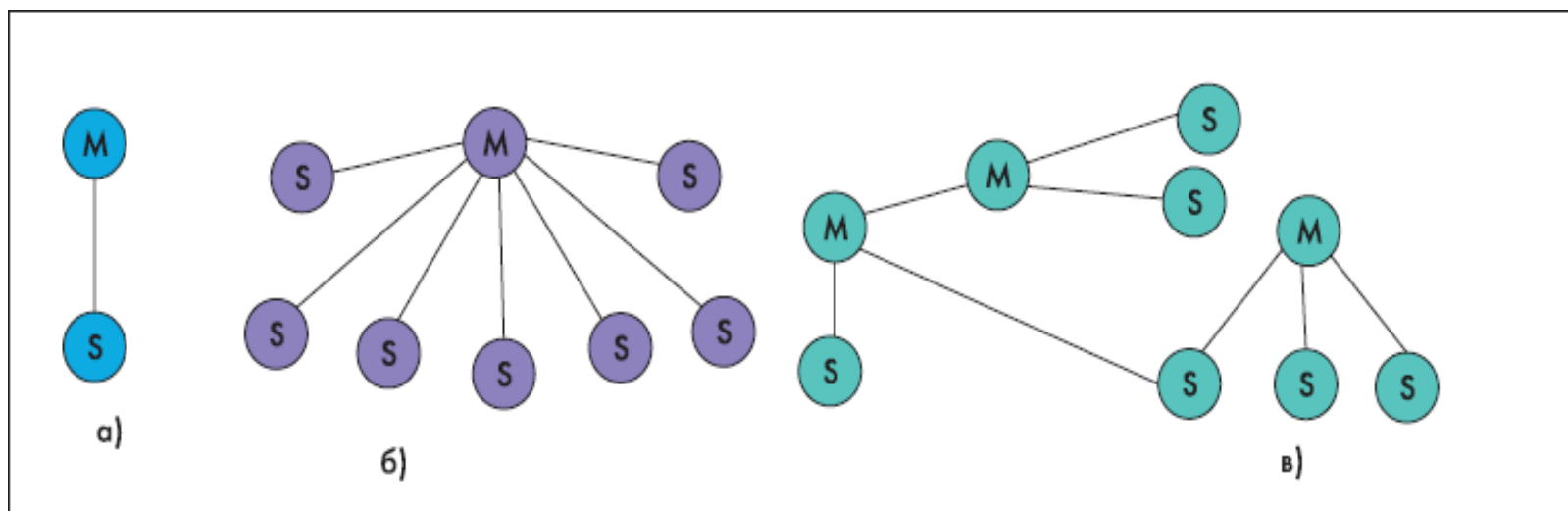


# Bluetooth

**Bluetooth** — международный стандарт беспроводных коммуникаций малого радиуса действия.

Основное назначение Bluetooth — обеспечение экономичной радиосвязи между различными типами электронных устройств, причём немалое значение придается компактности электронных компонентов, что даёт возможность применять Bluetooth в малогабаритных приборах.

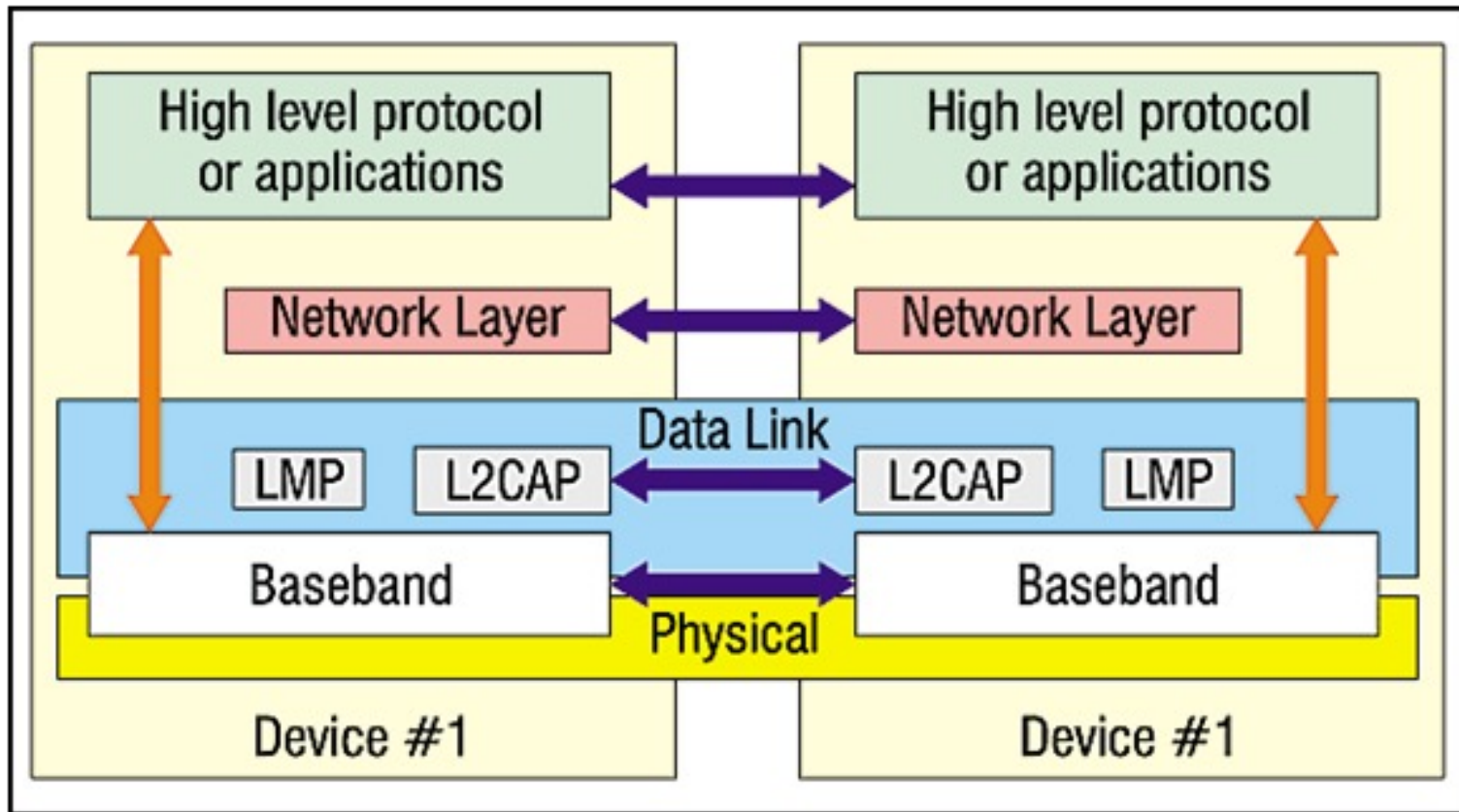
## Bluetooth. Топология (звезда)



- а) подключение ведущий-ведомый
- б) подключение с одним ведущим и несколькими ведомыми
- в) подключение с несколькими ведущими и ведомыми



## Bluetooth. Стек протоколов



## Bluetooth. Стек протоколов

- ✓ **Уровень физических радиосигналов (Physical)** описывает частоты и мощности сигналов, используемых для передачи информации.
- ✓ **Уровень базового диапазона частот (Baseband)** отвечает за организацию каналов передачи данных в радиосреде. В его обязанности входят выбор последовательности псевдослучайной перестройки частоты, синхронизация устройств в пикосети, формирование и передача кадров по установленным каналам. Кадр Bluetooth имеет переменную длину, поле данных может содержать от 0 до 2744 бит (343 байт). Для передачи голоса используются кадры фиксированного размера с полем данных 240 бит (30 байт).
- ✓ **Диспетчер каналов (LMP)** отвечает за аутентификацию устройств и шифрование трафика, а также управляет статусом устройств, то есть может сделать подчиненное устройство главным, и наоборот.

## Bluetooth. Стек протоколов

- ✓ **Уровень протокола адаптации для управления логическим каналом (Logical Link Control Adaptation Protocol, L2CAP)** является верхним уровнем протоколов ядра Bluetooth. Этот протокол используется только в тех случаях, когда устройство передает данные; голосовой трафик обходит этот протокол и обращается непосредственно к уровню базового диапазона частот. Уровень L2CAP принимает от протоколов верхнего уровня сегменты данных размером до 64 Кбайт и делит их на небольшие кадры для уровня базового диапазона частот.
- ✓ **Аудиоуровень** обеспечивает передачу голоса. На этом уровне применяется импульсно-кодовая модуляция (PCM), что определяет скорость голосового канала в 64 Кбит/с.
- ✓ **Уровень управления** передает информацию о состоянии соединений и принимает команды, изменяющие конфигурацию и состояние соединений.

## Bluetooth. Дальность

- ✓ Рабочий диапазон устройств зависит от их класса:
  - Класс 3 – дальность до 1 метра.
  - Класс 2 – дальность до 10 метров – наиболее распространен в мобильных устройствах.
  - Класс 1 – диапазон до 100 метров – используется преимущественно в промышленности.
- ✓ Bluetooth 5 увеличивает диапазон Bluetooth 4.0 до 60 метров.

## Bluetooth. Помехоустойчивость. Энергопотребление

- ✓ В Bluetooth используется технология адаптивной смены частоты (adaptive frequency hopping (AFH)) с целью уменьшения помех, возникающих при совместной работе других технологий, использующих диапазон частот 2,4 ГГц.
- ✓ Наиболее часто используемые устройства потребляют 2,5 мВт



## Bluetooth. Сфера применения

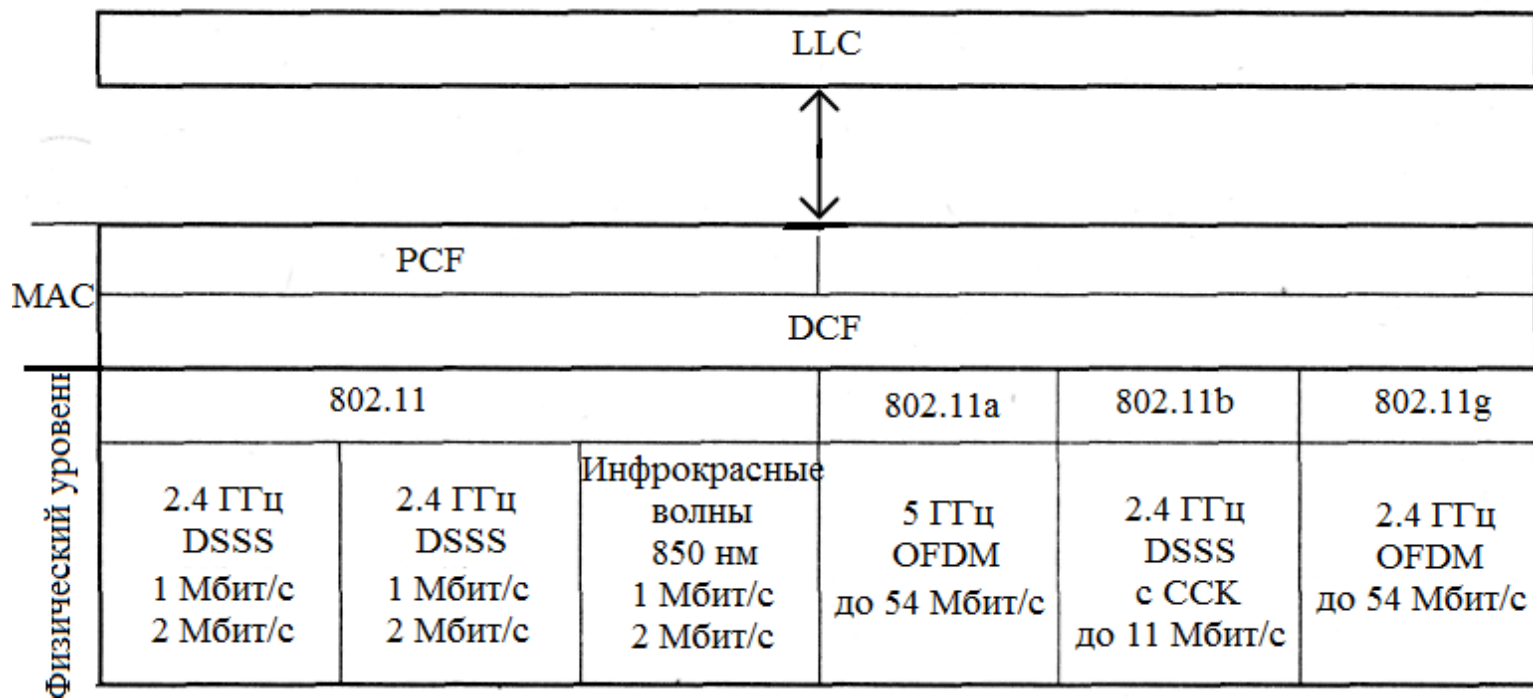
- Основным направлением использования Bluetooth является создание персональных сетей (PAN, или private area networks), включающих такие разноплановые устройства, как мобильные телефоны, PDA, MP3-плееры, компьютеры и даже микроволновые печи и холодильники.
- Возможность передачи голоса позволяет встраивать интерфейс Bluetooth в беспроводные телефоны или, например, беспроводные гарнитуры для сотовых телефонов.
- Узлами персональной сети могут быть любые устройства, имеющие потребность в получении информации или обладающие необходимой информацией.

# Wi-Fi

Wi-Fi (англ. Wireless Fidelity — «беспроводная точность») — стандарт на оборудование Wireless LAN.

Wi-Fi — это протокол беспроводной передачи данных, помогающий соединить  $n$ -ное количество компьютеров в сеть, либо подключить их к интернету, с малым радиусом действия, использующий радиоволны.

# Wi-Fi. Стек протоколов







## Wi-Fi. Стек протоколов

- ✓ Физический уровень IEEE 802.11x - радиоканал. Этот уровень характеризует параметры физической среды передачи данных.
- ✓ Канальный уровень осуществляет управление доступом к передающей среде и обеспечивает пересылку кадров между любыми двумя устройствами беспроводной сети. После того, как доступ к среде получен, ею может воспользоваться подуровень LLC. Подуровень LLC, организующий передачу кадров информации, один и тот же в беспроводных сетях Wi-Fi и в кабельных сетях с архитектурой Ethernet.



## Wi-Fi. Стек протоколов. MAC-уровень

В сетях 802.11 уровень MAC обеспечивает два режима доступа к *разделяемой среде*:

- ✓ распределенный режим *DCF* (Distributed Coordination Function);
- ✓ централизованный режим *PCF* (Point Coordination Function).

## Wi-Fi. Скорость, дальность, энергопотребление

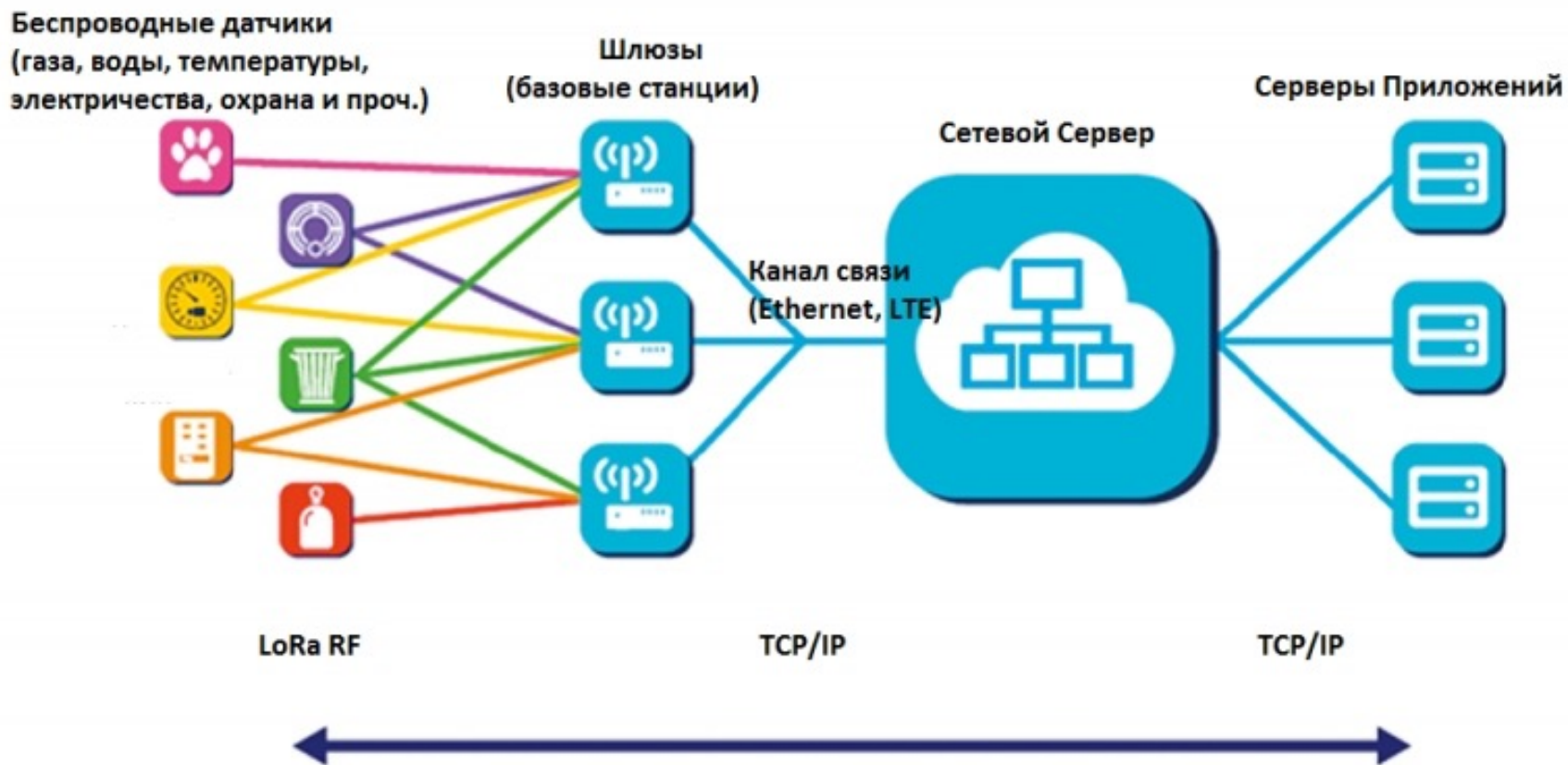
- ✓ Скорость передачи данных для Wireless оборудования, поддерживающего стандарт 802.11b, не превышает 11 Мбит/с, а для оборудования, поддерживающего стандарт 802.11g, до 54 Мбит/с. Стандарт 802.11n способен обеспечить скорость передачи данных до 600 Мбит/с. Для 802.11a скорость передачи данных - 54 Мбит/с.
- ✓ Диапазон частот — 2,4 или 5 ГГц;
- ✓ Радиус действия — до 100 метров.
- ✓ При передаче данных посредством сети 802.11ac используются более широкие каналы и повышенная частота, что увеличивает теоретическую скорость до 1,3 Гбит/с. На практике пропускная способность составляет до 600 Мбит/с. Кроме того, устройство на базе 802.11ac передаёт больше данных за один такт.
- ✓ Высокое по сравнению с другими стандартами потребление энергии, что уменьшает время жизни батарей и повышает температуру устройства.



## LoRaWAN

- Сеть **LoRaWAN** (Long Range wide-area networks) предназначена для обслуживания IoT-устройств
- **LoRaWAN** строится на топологии «звезда». Множество устройств по беспроводному соединению передают данные на несколько шлюзов
- Шлюзы, получившие информацию, перенаправляют полученные пакеты от конечного узла к облачному сетевому серверу, подключенного через мобильную или спутниковую связь
- Один шлюз способен обслуживать несколько десятков тысяч устройств

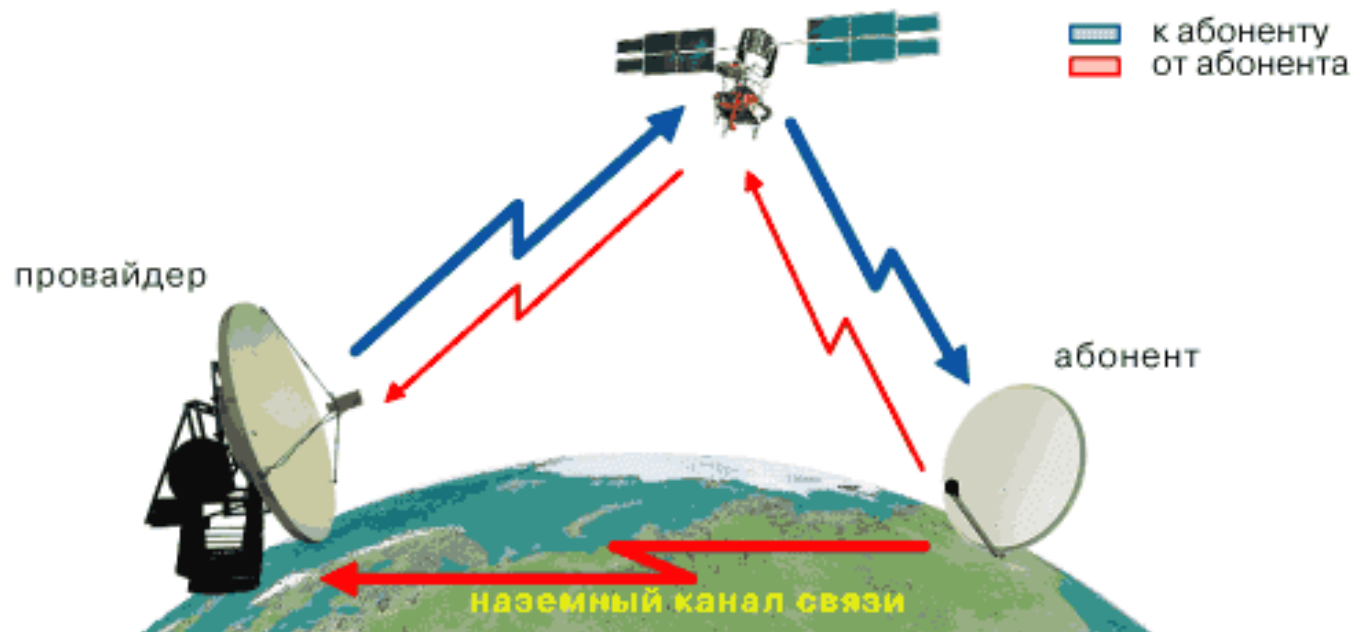
# LoRaWAN



# Спутниковая связь

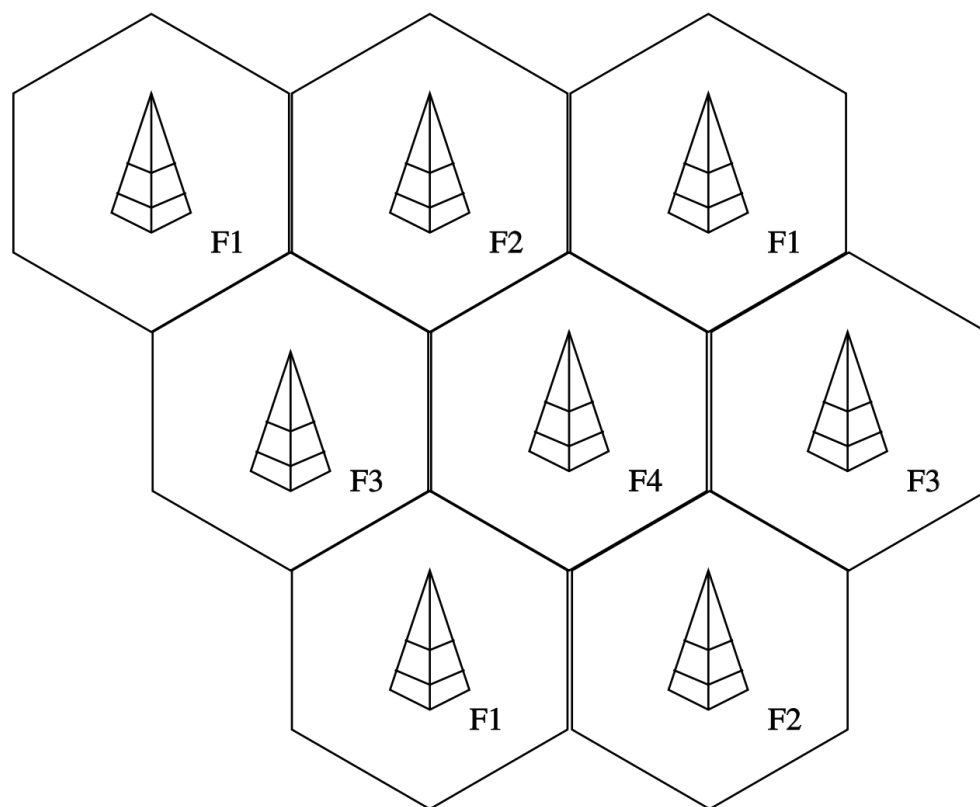
Орбиты спутников, используемые для связи:

- **Геостационарные** (период обращения Земли, 4 спутника достаточно, чтобы покрыть всю планету, над экватором 36 тыс. км)
- **Низкоорбитальные** (множество спутников на сотни и тыс. км, одна земная станция поддерживает связь с 3 ближайшими спутниками)



## Сотовая связь

- Зона покрытия делится на соты с базовой станцией в центре
- Текущее поколение сотовых сетей: **пятое** со скоростями до 20Гбит/с
- В России запрещены для использования частоты 3,4—3,8 ГГц
- В 2020 году МТС получила лицензию на оказание услуг в сетях 5G в диапазоне 24,25-24,65 ГГц



# Беспроводные сенсорные сети и интернет-вещей

Приложения: автоматизация процессов в доме, на производстве



Используемые технологии передачи данных: **ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi.**





УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**Спасибо за внимание!**

[sergei\\_bykovskii@itmo.ru](mailto:sergei_bykovskii@itmo.ru)