

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича
СПб ГУТ)))

ВСЕПРОНИКАЮЩИЕ СЕНСОРНЫЕ СЕТИ

Лекция 3

Протоколы физического уровня для беспроводных сенсорных сетей

Выборнова Анастасия Игоревна

Концепция беспроводных сенсорных сетей

Концепция беспроводных сенсорных сетей:

- **Сенсорные узлы:** много, небольших габаритов и стоимости, с низким энергопотреблением, необслуживаемые.
- **Сеть:** беспроводная, ad hoc, многопереходовая (multihop) самоорганизующаяся.

Предполагалось, что сенсорная сеть будет максимально быстро и просто развертываться на целевой территории (например, сенсорные узлы будут сбрасываться с самолета), далее узлы будут самостоятельно организовываться в сеть и начинать передачу данных об окружающей среде.

Концепция беспроводных сенсорных сетей



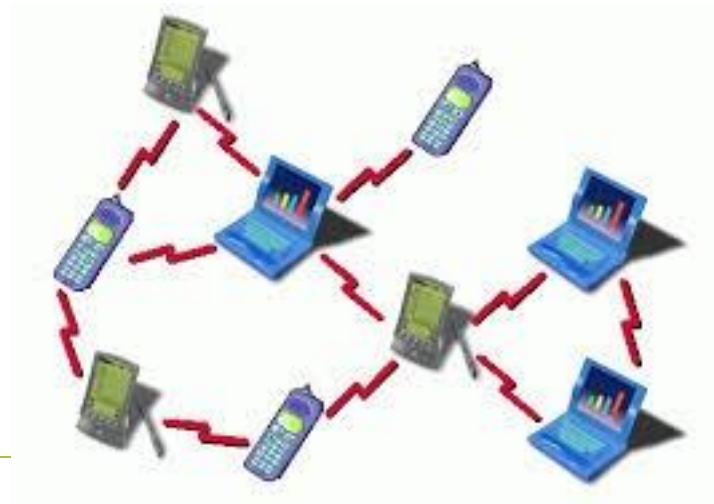
Концепция беспроводных сенсорных сетей

Режимы взаимодействия узлов в беспроводной сети:

- Инфраструктурный (управляемый)

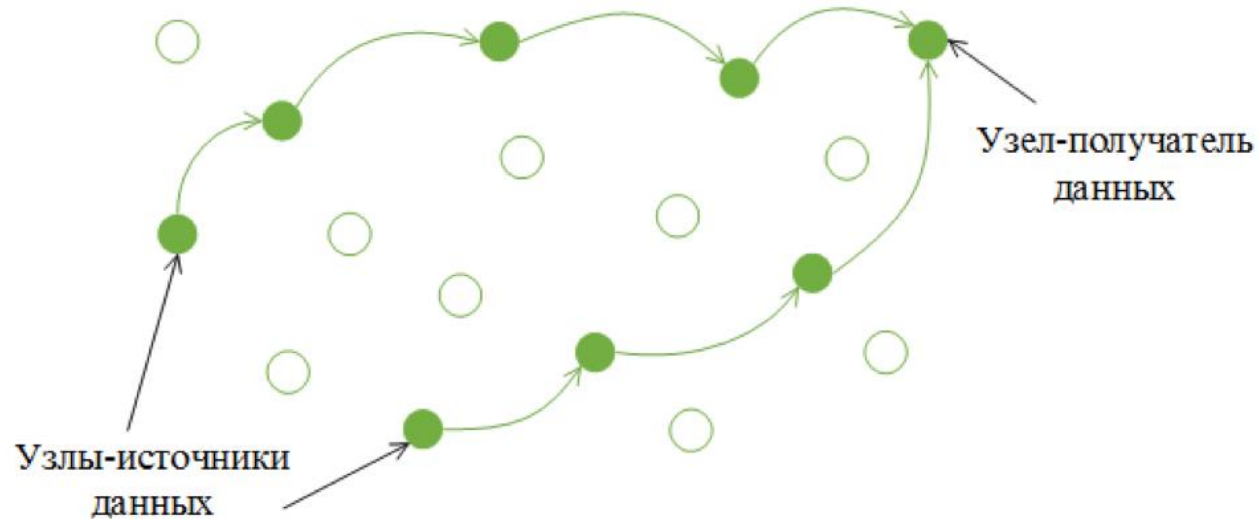


- Ad hoc (целевой)

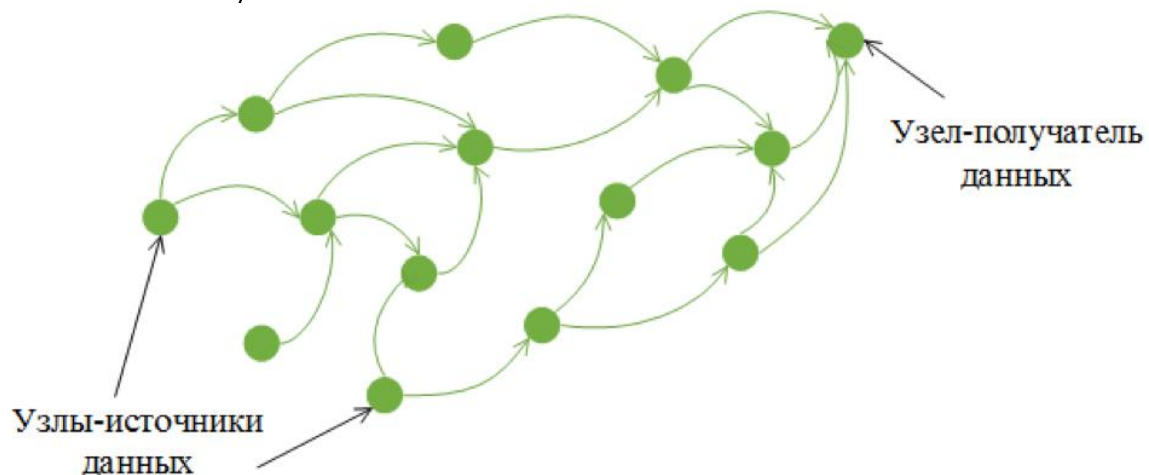


Концепция беспроводных сенсорных сетей

Многопереходовый
(multihop) режим:



Такому режиму обычно соответствует
«ячеистая» топология
сети:



Концепция беспроводных сенсорных сетей

Такая концепция потребовала создания специальных протоколов беспроводной передачи данных:

- Обеспечивающих низкое энергопотребление сенсорных узлов.
- Не требующих значительных вычислительных мощностей.
- Дающих возможность создания самоорганизующейся ad hoc сети.
- Позволяющих передавать данные на небольшие расстояния (метры и десятки метров).

Протоколы беспроводной передачи данных для сенсорных узлов

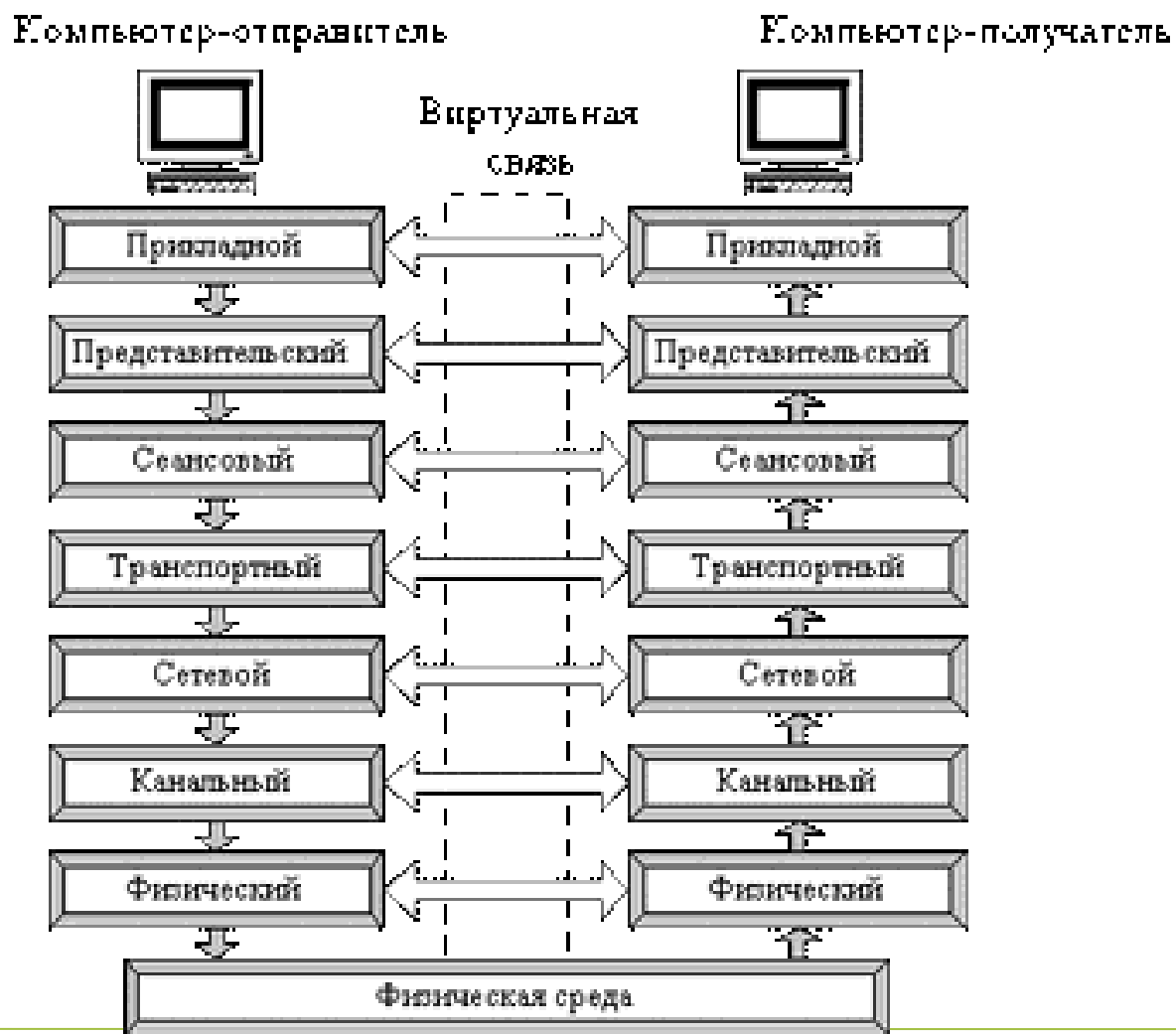
Протоколы связи:

- IEEE 802.11 (WiFi)
- IEEE 802.14.1 (Bluetooth)
- IEEE 802.14.5 (LR-WPAN)
- Использование технологий сотовых сетей, LTE-M и NB-IoT
- LoRa
- Проприетарные протоколы
- Другие виды связи

Особенность использования в сенсорных устройствах:

- Циклы «сон-работа»

Модель OSI



IEEE 802.11 (WiFi)

Частоты:

- 2,4 ГГц
- 3,6 ГГц
- 5 ГГц
- 60 ГГц (меньше расстояние, лучше распространение сигнала внутри помещений, позволяет передавать данные с большей скоростью).

IEEE 802.11 (WiFi)

Типы модуляции сигнала:

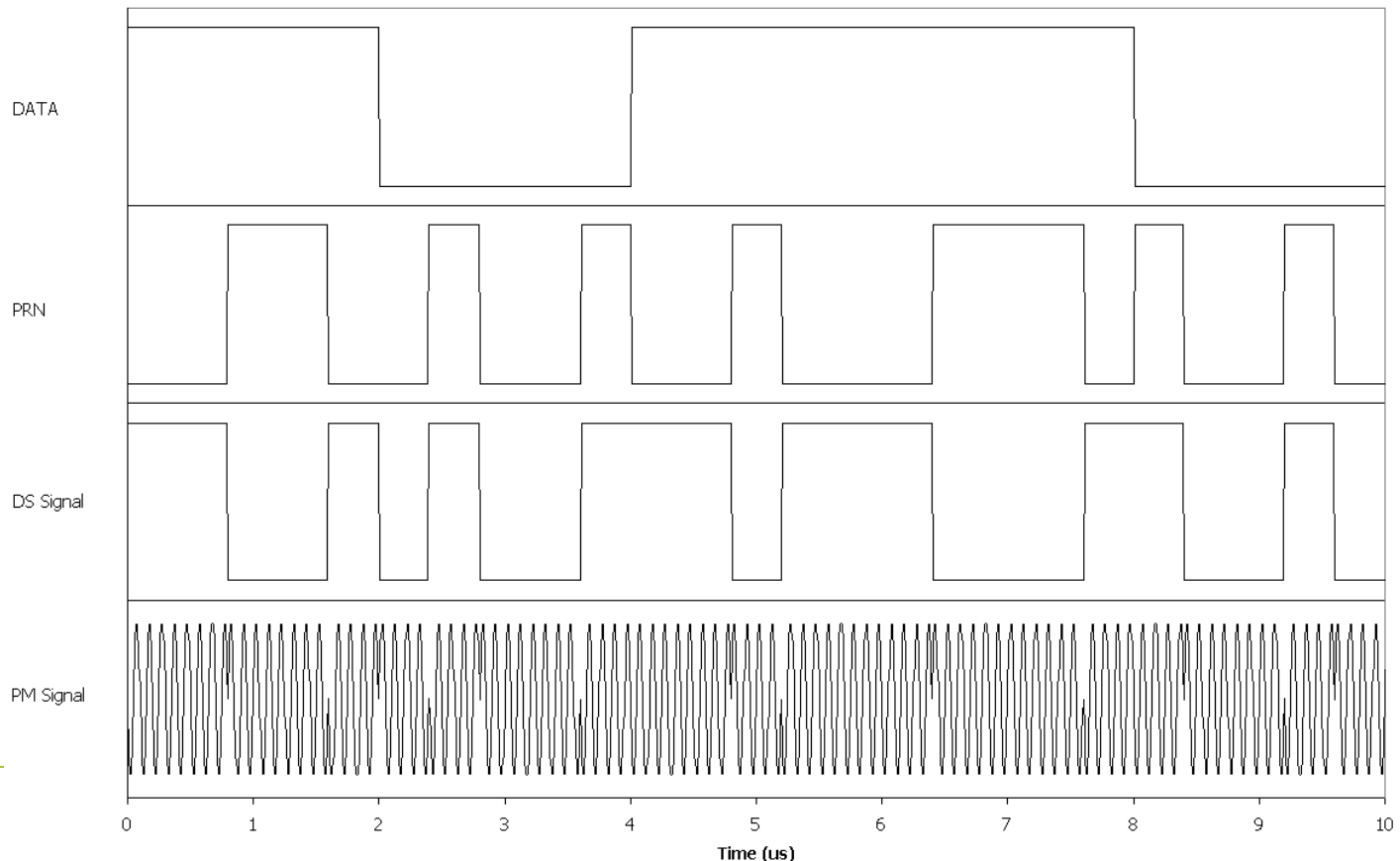
- DSSS — распределение спектра при помощи прямой последовательности
 - OFDM — мультиплексирование ортогональными несущими
- +Фазовая манипуляция, квадратурная амплитудная модуляция и др.

Дополнительное разделение каналов:

- MIMO — использование нескольких пространственно-распределенных антенн

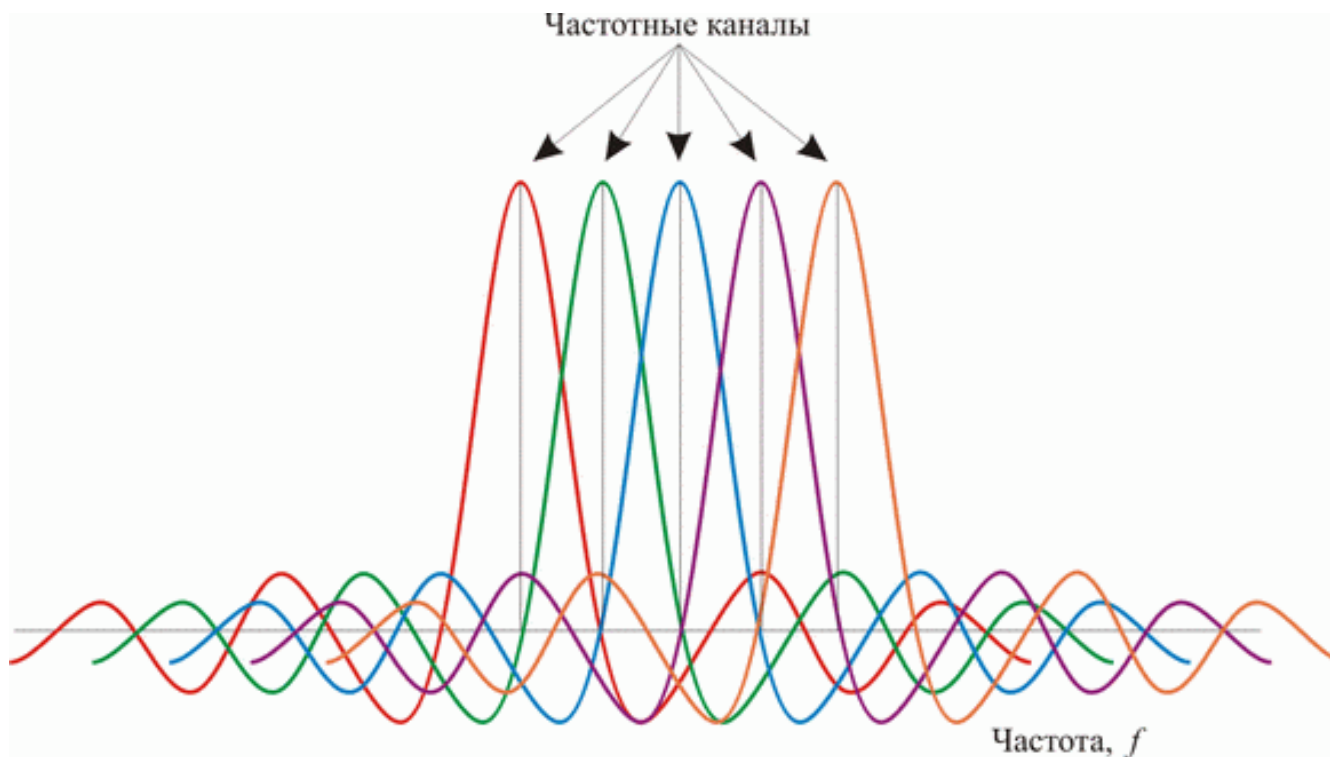
IEEE 802.11 (WiFi)

DSSS — Direct-sequence spread spectrum, распределение спектра при помощи прямой последовательности



IEEE 802.11 (WiFi)

OFDM — Orthogonal frequency-division multiplexing,
мультиплексирование ортогональными несущими



IEEE 802.11 (WiFi)

MIMO — multiple-input and multiple-output, пространственное кодирование сигнала при помощи передачи его N антеннами и приема M антеннами

- Если антенны разнесены в пространстве, то комплексные передаточные функции от каждой передаточной антенны до приемной также различны.
- Передавая по одному из подканалов каждой антенны заранее известную последовательность бит можно оценить передаточные функции каждой из антенн и таким образом разделить потоки данных от разных антенн.



IEEE 802.11 (WiFi)

Ширина полосы (позволяет создать несколько подканалов):

- 20 - 160МГц на частотах 2,4, 3,6 и 5ГГц
- до 8ГГц на частоте 60ГГц

Скорость передачи данных:

- 1М бит/с - 6,77 Гбит/с на частотах 2,4, 3,6 и 5ГГц
- 6,75 Гбит/с — сейчас, до 100 Гбит/с в будущем на частоте 60ГГц

Энергопотребление:

- Высокое, задачи экономии энергии не ставилось.

IEEE 802.11 (WiFi)

Использование для беспроводных сенсорных сетей

Плюсы:

- Массовое производство, низкие лицензионные отчисления -> дешево.
- Высокая скорость передачи (но для многих приложений столько не нужно).

Минусы:

- Относительно высокое энергопотребление, отсутствие стандартных механизмов экономии энергии
- Регуляция частот в разных странах — потенциальные проблемы очень массового использования.

Энергосберегающий WiFi

Учитывая популярность технологии, предпринимаются попытки сделать разновидности WiFi с низким энергопотреблением:

- Нестандартизированные разработки различных компаний (включая пассивный WiFi).
- IEEE 802.11ah HaLow (900МГц) – повсеместно не используется (занятый спектр, наличие более доступных альтернатив).

IEEE 802.15.1 (Bluetooth)

Частота:

- 2,4 ГГц

Ширина полосы:

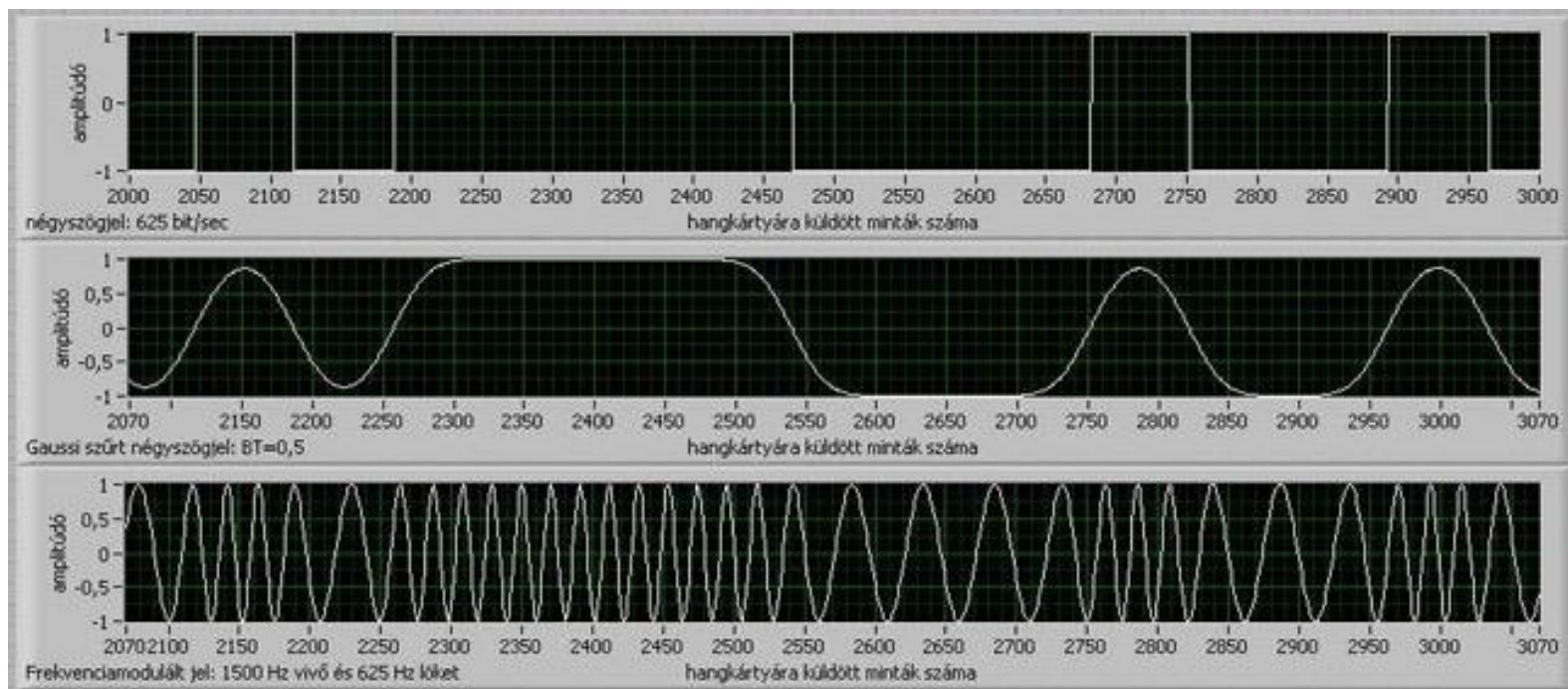
- 83,5 МГц

Типы модуляции сигнала:

- Псевдослучайная перестройка рабочей частоты
- GFSK — частотная манипуляция со сглаживанием при помощи фильтра Гаусса
- DQPSK — Дифференциальная квадратичная фазовая манипуляция

IEEE 802.15.1 (Bluetooth)

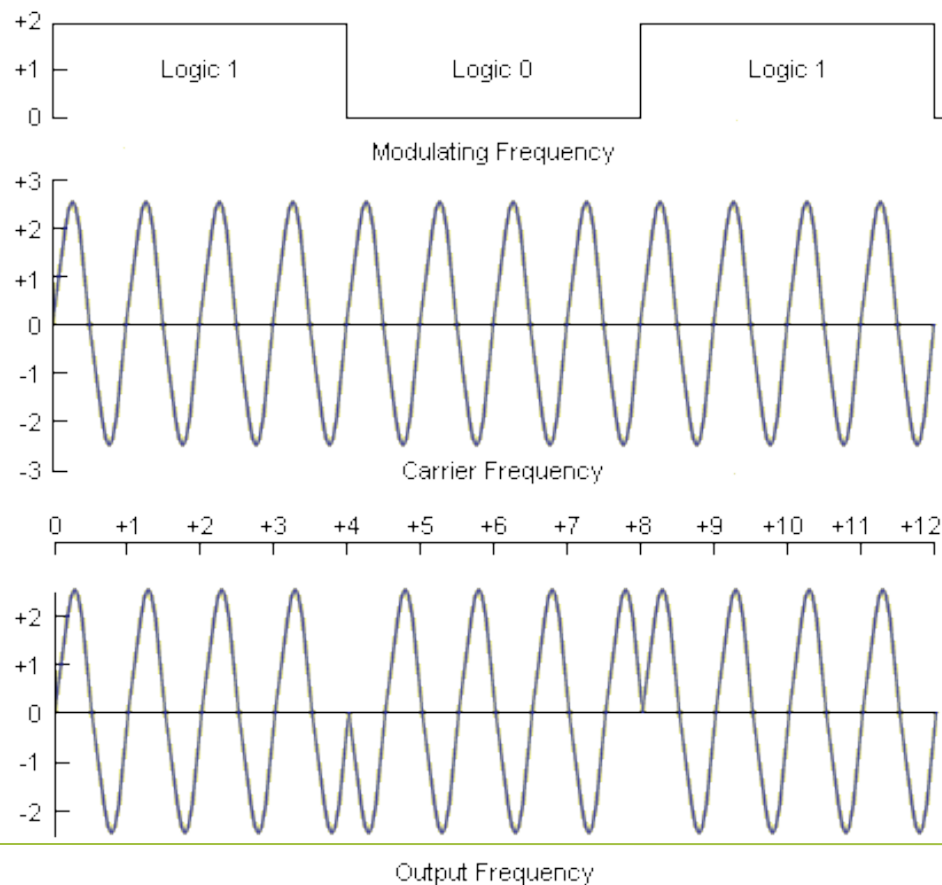
GFSK — Gaussian frequency-shift keying, частотная манипуляция со сглаживанием при помощи фильтра Гаусса



IEEE 802.15.1 (Bluetooth)

DQPSK — Дифференциальная квадратичная фазовая манипуляция

Фазовая манипуляция
(бинарная):



IEEE 802.15.1 (Bluetooth)

Квадратичная фазовая манипуляция, в отличие от бинарной, использует 4 фазы (сдвиг — 90°) и кодирует не отдельные биты, а пары: 00, 01, 10, 11

Дифференциальная квадратичная фазовая манипуляция использует для определения того, какая именно пара передается, не абсолютную величину фазы, а ее изменение (нет необходимости в опорном сигнале).

IEEE 802.15.1 (Bluetooth)

Скорость передачи:

- 1-3 Мбит/с

Расстояние передачи:

- 10 метров

Энергопотребление:

- Низкое

IEEE 802.15.1 (Bluetooth)

Использование для беспроводных сенсорных сетей

Плюсы:

- Низкое энергопотребление.
- Частотный диапазон, нерегулируемый в большинстве стран.

Минусы:

- Сложности расширения адресного пространства (стандартно максимум 7 подключенных устройств).

Bluetooth LE (Low Energy)

Отдельный стандарт беспроводной связи.

Частота:

- 2,4 ГГц

Ширина полосы:

- 83,5МГц (но разбита иначе, чем в Bluetooth).
- Отличный от Bluetooth тип работы с частотами.

Bluetooth LE (Low Energy)

Скорость

- 125Кбит/с – 2Мбит/с

Энергопотребление:

- Очень низкое, до 10 раз меньше, чем Bluetooth.
- Нет ограничения в числе подключенных устройств.

IEEE 802.15.4 (LR WAN)

Частоты:

- 868 МГц
- 915 МГц
- 2450 МГц

Используется многими производителями IoT решений, в частности, входящими в ZigBee альянс.

IEEE 802.15.4 (LR WAN)

Типы модуляции сигнала:

- DSSS — распределение спектра при помощи прямой последовательности
- GFSK — частотная манипуляция со сглаживанием при помощи фильтра Гаусса
- BPSK — бинарная фазовая манипуляция
- QPSK — квадратичная фазовая манипуляция

IEEE 802.15.4 (LR WAN)

Скорость передачи данных:

- 20-250 Кбит/с

Расстояние передачи:

- 10 метров

Энергопотребление:

- Очень низкое

IEEE 802.15.4

Использование для беспроводных сенсорных сетей

Плюсы:

- Очень низкое энергопотребление.
- Создавалось специально для беспроводных сенсорных сетей.
- Относительно низкая цена.

Минусы:

- Низкая скорость передачи (но для многих приложений достаточно).

Сотовая связь, LTE-M, NB-IoT

Для передачи данных сенсорных сетей может использоваться стандартная сотовая сеть связи (3G, 4G), но при этом значительно повысится энергопотребление узлов сети.

Существуют разновидности данных технологий, более подходящие для ВСС:

- LTE-M (1-4 Мбит/с, широко не используется);
- NB-IoT (примерно до 150Кбит/с, используется несколько более широко).

Обе технологии могут использовать стандартные LTE-частоты, но NB-IoT использует при этом только узкую полосу 200 КГц (LTE-M от 1.4 до 20МГц).

LoRa (Long Range)

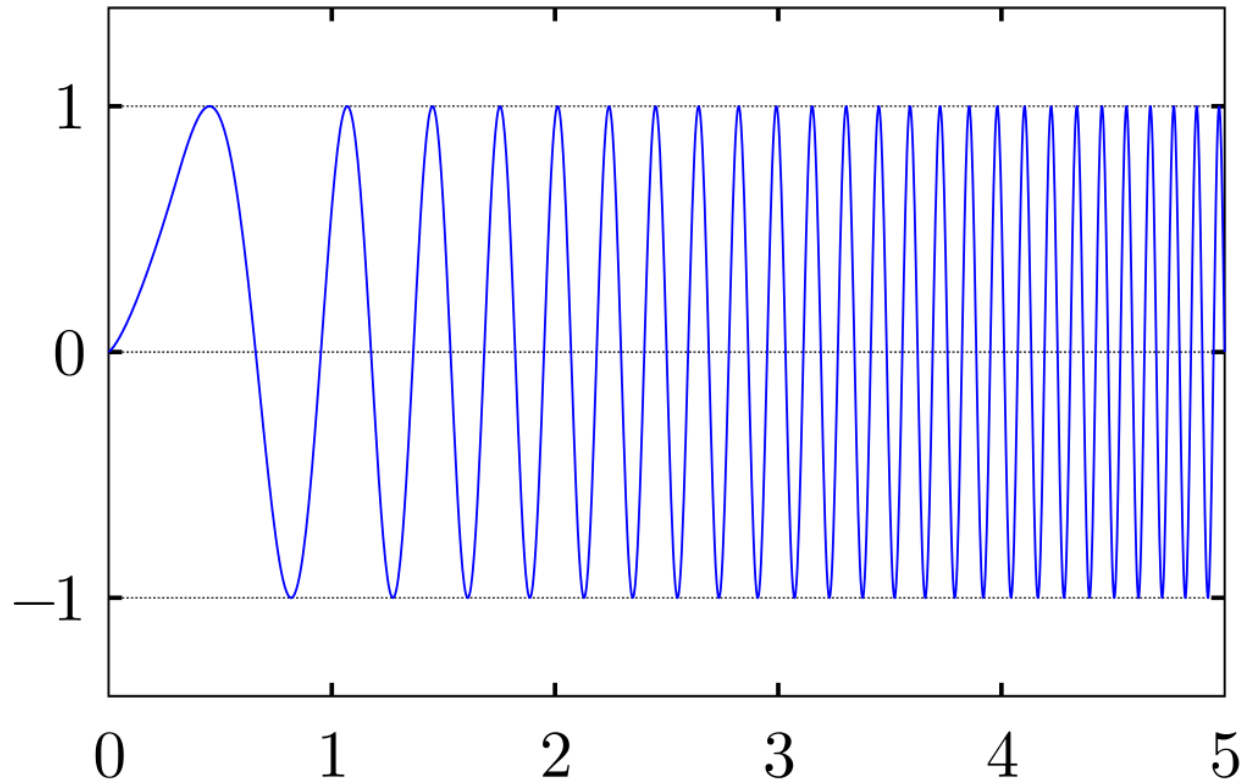
Частоты:

- 433 МГц,
- 868 МГц (Европа),
- 915 МГц (Австралия и Северная Америка),
- 923 МГц (Азия).

Типы модуляции:

- Проприетарная технология, аналогичная расширению спектра методом линейной частотной модуляции (Chirp spread spectrum).

LoRa (Long Range)



LoRa (Long Range)

Скорость передачи данных:

- От 250 бит/с до 11 бит/с.

Дальность передачи:

- **Более 10км** (на практике 1-5 км).

Энергопотребление:

- Низкое

LoRa (Long Range)

Плюсы:

- Низкое энергопотребление.
- Большое расстояние передачи.

Минусы:

- Низкая скорость передачи.
- Проприетарная технология модуляции.

Ultra-narrow band связь

Проприетарные протоколы:

- Sigfox
- Стриж

Дальность передачи:

- 10 км (на практике меньше).

Множество каналов шириной 100Гц (LoRa – широкие каналы).

Ultra-narrow band связь

Преимущества:

- Большая дальность связи.
- Скорость иногда заявлена выше LoRa, за счет параллельного использования частотных каналов.

Недостатки:

- Технические проблемы реализации – сложность в том, чтобы «держат» частоту (требуются дорогие устройства синхронизации), то есть на практике скорость сильно меньше.
- Высокая стоимость (проприетарные технологии).

Другие типы связи

Спутниковая, стандартная сотовая и другие типы связи также могут использоваться для организации связи сенсорных сетей, что позволяет, в частности, получать данные из удаленных регионов без других способов связи. При этом:

- 1) Такая связь будет использоваться не для передачи данных между узлами, а для связи шлюза с сервером или клиентами.
- 2) Потребуется организация электропитания.

Проприетарные протоколы связи

Помимо приведенных выше протоколов связи могут также использоваться проприетарные технологии, разрабатываемые компаниями, производящими оборудование для сенсорных сетей и сетей IoT.

Циклы «работа-сон»

- Большая часть энергии сенсорного узла тратится на передачу данных, а не на сенсорную функцию.
- Для экономии энергии можно передавать не каждое полученное измерение внешней среды — большую часть времени модуль беспроводной связи «спит», затем просыпается и передает всю собранную за время сна информацию.
- Проблема: связь используется узлом не только для передачи информации, но и для самоорганизации сети, транзита информации от более удаленных узлов (multihop).

Циклы «работа-сон»

- Существуют различные алгоритмы организации циклов «работа-сон» в рамках сенсорной сети.
- В основном такие алгоритмы разрабатывались для IEEE 802.15.4, но сейчас появляются и для WiFi.

Практическое занятие

Вариант 1: «Умный дом»: датчики температуры, влажности, освещенности, движения.

Вся информация должна передаваться на расположенный в доме сервер для обработки и предоставления доступа с мобильных устройств.

Вариант 2: Система мониторинга температуры и влажности почвы в винограднике. Сенсоры расположены очень часто (каждые 5-10 метров), виноградник небольшой по площади.

Вся информация должна передаваться на расположенный недалеко от поля сервер для для обработки и предоставления доступа с мобильных устройств.

Какой протокол связи использовать? Почему?

Практическое занятие

Дополнительно:

- Система мониторинга здоровья (носимая на себе)
- Система мониторинга параметров окружающей среды, расположенная в труднодоступной тайге, около 20 точек мониторинга
- Система мониторинга дорожной ситуации: радары на столбах, GPS-датчики в автомобилях.