

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

ВСЕПРОНИКАЮЩИЕ СЕНСОРНЫЕ СЕТИ

Лекция 1

Сенсорные сети. История развития сенсорных сетей.
Введение в архитектуру и протоколы

Выборнова Анастасия Игоревна

Введение

Всепроникающие сенсорные сети – это концепция, в рамках которой предусматривалось создание протоколов, алгоритмов и инфраструктуры для подключения к сетям связи большого количества беспроводных сенсорных устройств.

Введение

Концепция беспроводных сенсорных сетей:

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

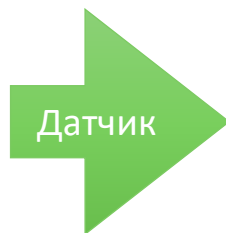
Предполагалось, что сенсорная сеть будет максимально быстро и просто развертываться на целевой территории (например, сенсорные узлы будут сбрасываться с самолета), далее узлы будут самостоятельно организовываться в сеть и начинать передачу данных об окружающей среде.

План занятия

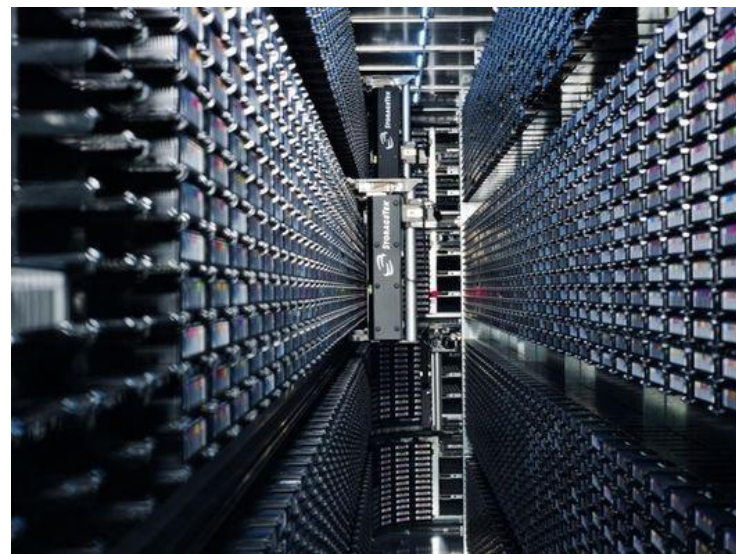
- История развития сенсорных сетей.
- Концепция беспроводных сенсорных сетей.
- Протоколы передачи данных в сенсорных сетях:
 - IEEE 802.11 (WiFi).
 - IEEE 802.15.1 (BlueTooth).
 - IEEE 802.15.4.
 - LoRa.
 - Другие.

Сенсоры

Окружающий мир



Вычислительные системы



Сенсорные системы и сети

А что если взять и объединить множество датчиков?

В современном мире чаще используются не единичные датчики, а их совокупности:

- Несколько различных датчиков, объединенных в систему.
- Географически распределенная система из большого количества датчиков 1-2 типов.

Сенсорные системы и сети

Несколько различных датчиков, объединенных в систему — **смартфон**.

Сенсорные сети и системы

Географически распределенная система из большого количества датчиков — беспроводные (всепроникающие) сенсорные сети.

- «умный дом»;
- системы контроля промышленных объектов;
- контроль автотрафика;
- контроль проникновения на территорию;
- контроль экологических параметров;
- ресурсосбережение.

Сенсорные системы и сети

Мониторинг параметров окружающей среды (температура, вибрации, содержание вредных веществ в атмосфере) на различных промышленных объектах.



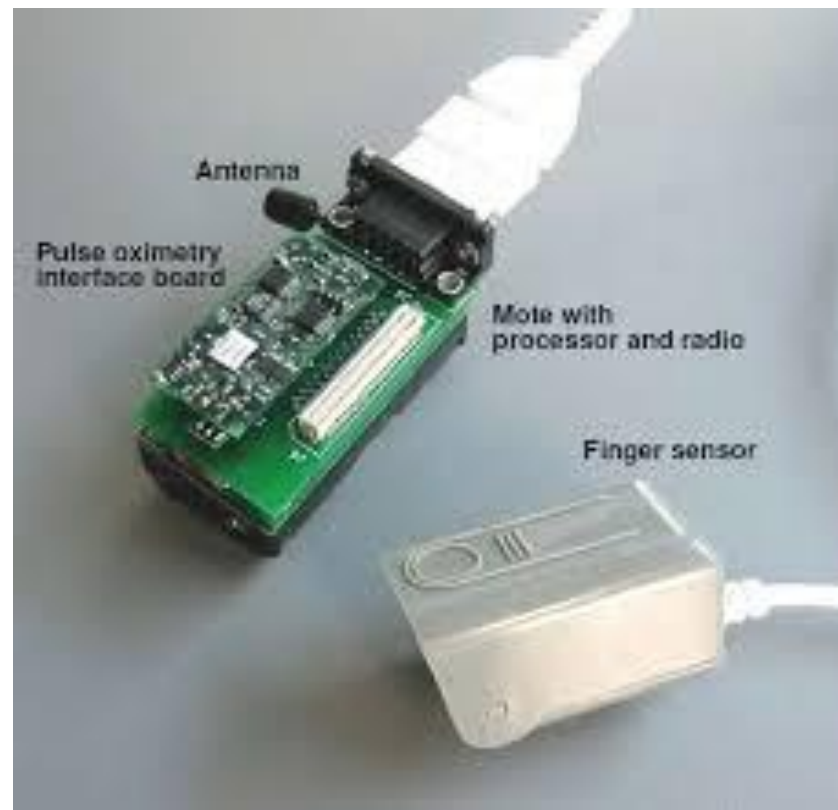
Сенсорные системы и сети

Мониторинг температуры, освещенности, силы и направления ветра, влажности воздуха и почвы в сельском хозяйстве.



Сенсорные системы и сети

Мониторинг состояния здоровья человека (в больнице, дома, на поле боя).



Сенсорные системы и сети

«Умный дом» — следующий шаг в развитии USN, сочетание в одной системе сенсоров и акторов



План занятия

- История развития сенсорных сетей.
- Концепция беспроводных сенсорных сетей.
- Протоколы передачи данных в сенсорных сетях:
 - IEEE 802.11 (WiFi).
 - IEEE 802.15.1 (BlueTooth).
 - IEEE 802.15.4.
 - LoRa.
 - Другие.

История развития сенсорных сетей и систем

Стимулами к развитию сенсорных систем были мировые войны и холодная война.

История развития сенсорных сетей и систем

Первая мировая война:

- начало активного использования подводных лодок -> применение пассивных гидроакустических локаторов (прием и усиление акустических волн в воде для обнаружения подводных лодок);
- конец первой мировой войны — начало разработки активных гидроакустических локаторов (устройств, излучающих звуковые импульсы, а затем принимает отраженные импульсы);
- использовались только отдельные устройства, не системы.

История развития сенсорных сетей и систем

Период между мировыми войнами:

- развитие активной гидролокации (ASDIC, Allied Submarine Detection Investigation Committee).
- успехи в создании вакуумной техники -> возможность излучения и детектирования радиоволн в широком диапазоне частот -> развитие радиолокации (использование свойства).

SONAR — **S**ound **N**avigation **A**nd **R**anging

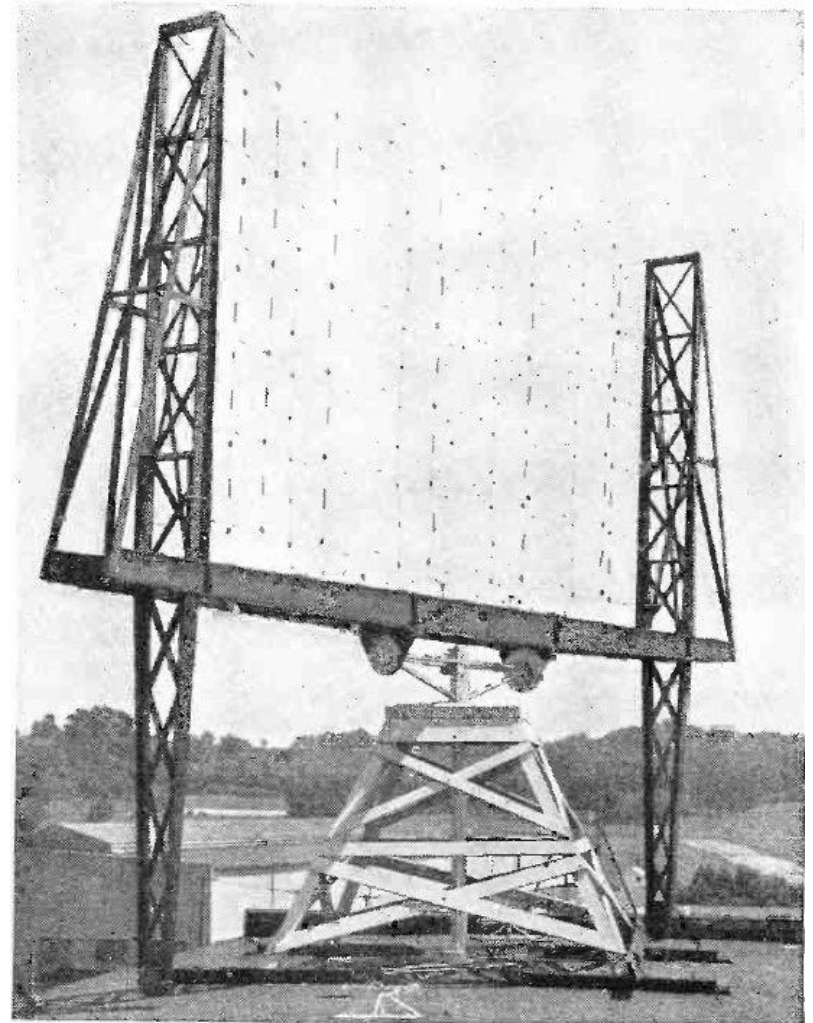
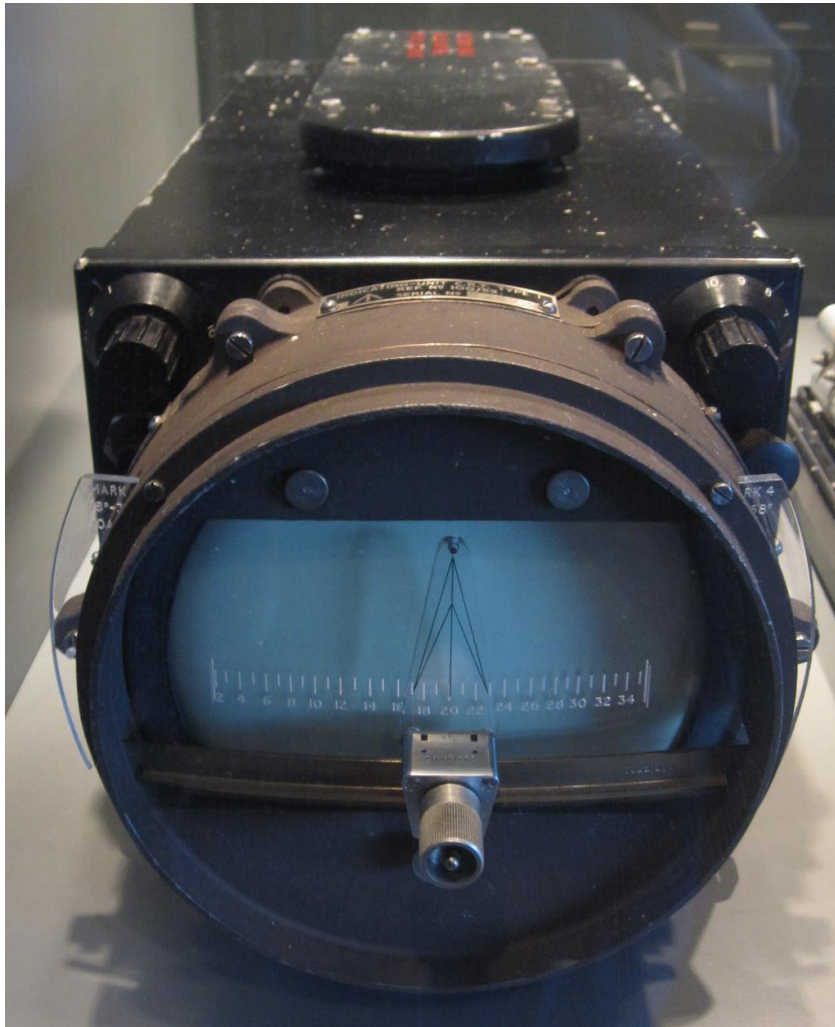
RADAR — **R**adio **D**etection **A**nd **R**anging

История развития сенсорных сетей и систем

Вторая мировая война:

- активное использование и усовершенствование гидроакустической и радиолокации.
- изучение законов распространения звуковых волн в океанах -> улучшение гидролокаторов.

История развития сенсорных сетей и систем



История развития сенсорных сетей и систем

Холодная война:

- Развитие технологий проводной и беспроводной связи -> появляется возможность создания географически распределенных систем из локаторов.
- **SOund SURveillance System (SOSUS)** — 50-е годы, США — первая широко известная сенсорная система. Представляла собой массив сонаров, расположенных на расстоянии около 10 км друг от друга и соединенных многожильным армированным кабелем.
- В СССР были аналоги, но информация большей частью засекречена.

История развития сенсорных сетей и

Physical Map of the World, April 2005

AUSTRALIA independent state
EUROPE independence or area of special sovereignty
island / island group
★ capital
Data in roman
Data in bold
Data in italics
Data in red



April 2005
© 2005 by the National Geographic Society
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without the prior written permission of the National Geographic Society.

История развития сенсорных сетей и систем

70-е годы XX века:

- бурное развитие транзисторной электроники;
- первые попытки объединения вычислительных систем в сеть (проект DARPA Arpanet — предшественник Интернета).



Проект Distributed Sensor Networks, посвященный возможности создания сети (проводной или беспроводной), объединяющей мобильные сенсорные узлы.

История развития сенсорных сетей и систем



Acoustic Array



Mobile Node



Equipment Rack

История развития сенсорных сетей и систем

90-е годы XX века:

- уменьшение габаритов вычислительных устройств, увеличение вычислительной мощности;
- развитие беспроводных технологий передачи данных.



Проекты Unattached Ground Sensors, SensIT, Smart Dust.

Концепция беспроводных сенсорных сетей (WSN, Wireless sensor Networks)

План занятия

- История развития сенсорных сетей.
- Концепция беспроводных сенсорных сетей.
- Протоколы передачи данных в сенсорных сетях:
 - IEEE 802.11 (WiFi).
 - IEEE 802.15.1 (BlueTooth).
 - IEEE 802.15.4.
 - LoRa.
 - Другие.

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



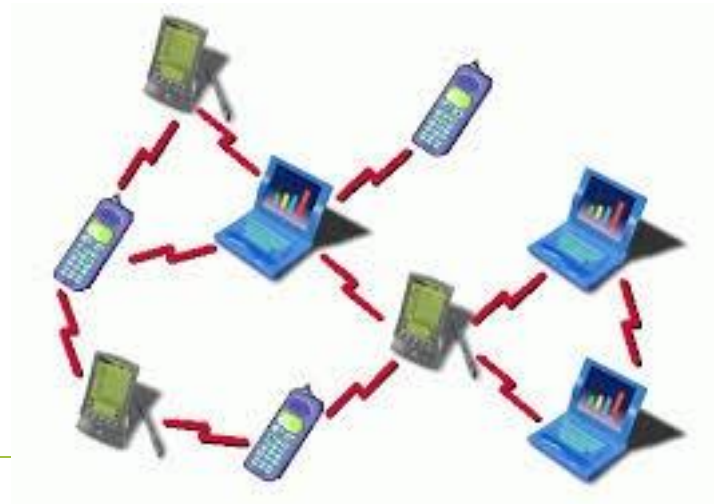
Концепция беспроводных сенсорных сетей

Режимы взаимодействия узлов в беспроводной сети:

- Инфраструктурный (управляемый)

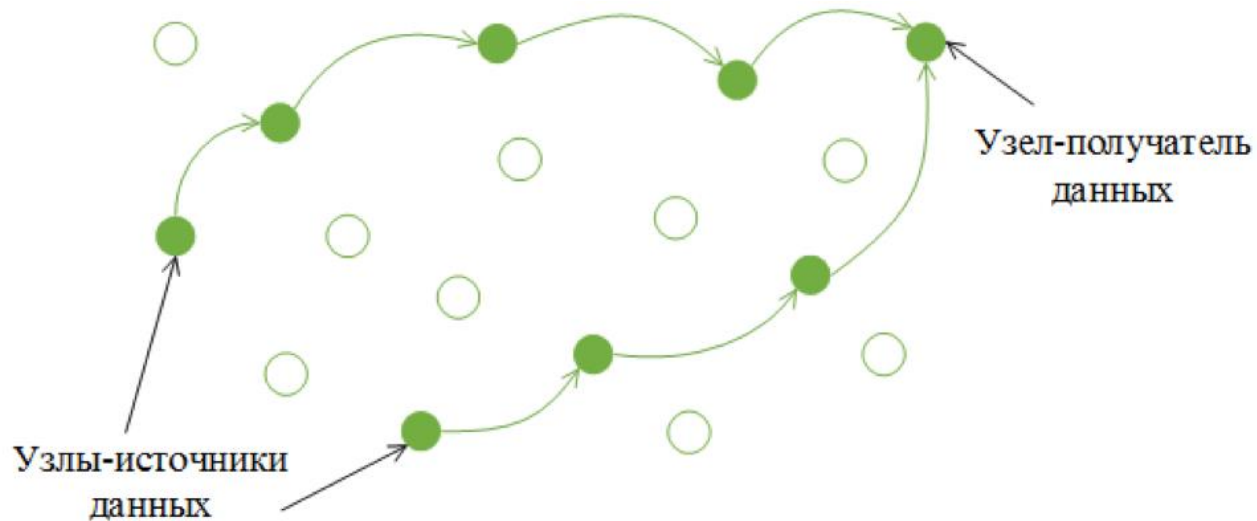


- Ad hoc (целевой)

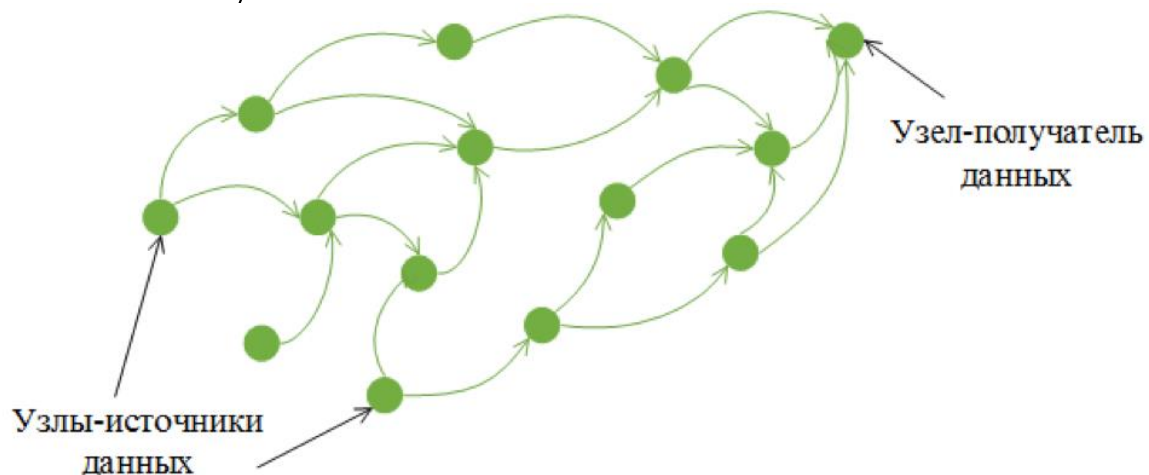


Концепция беспроводных сенсорных сетей

Многопереходовый
(multihop) режим:



Такому режиму обычно соответствует
«ячеистая» топология
сети:

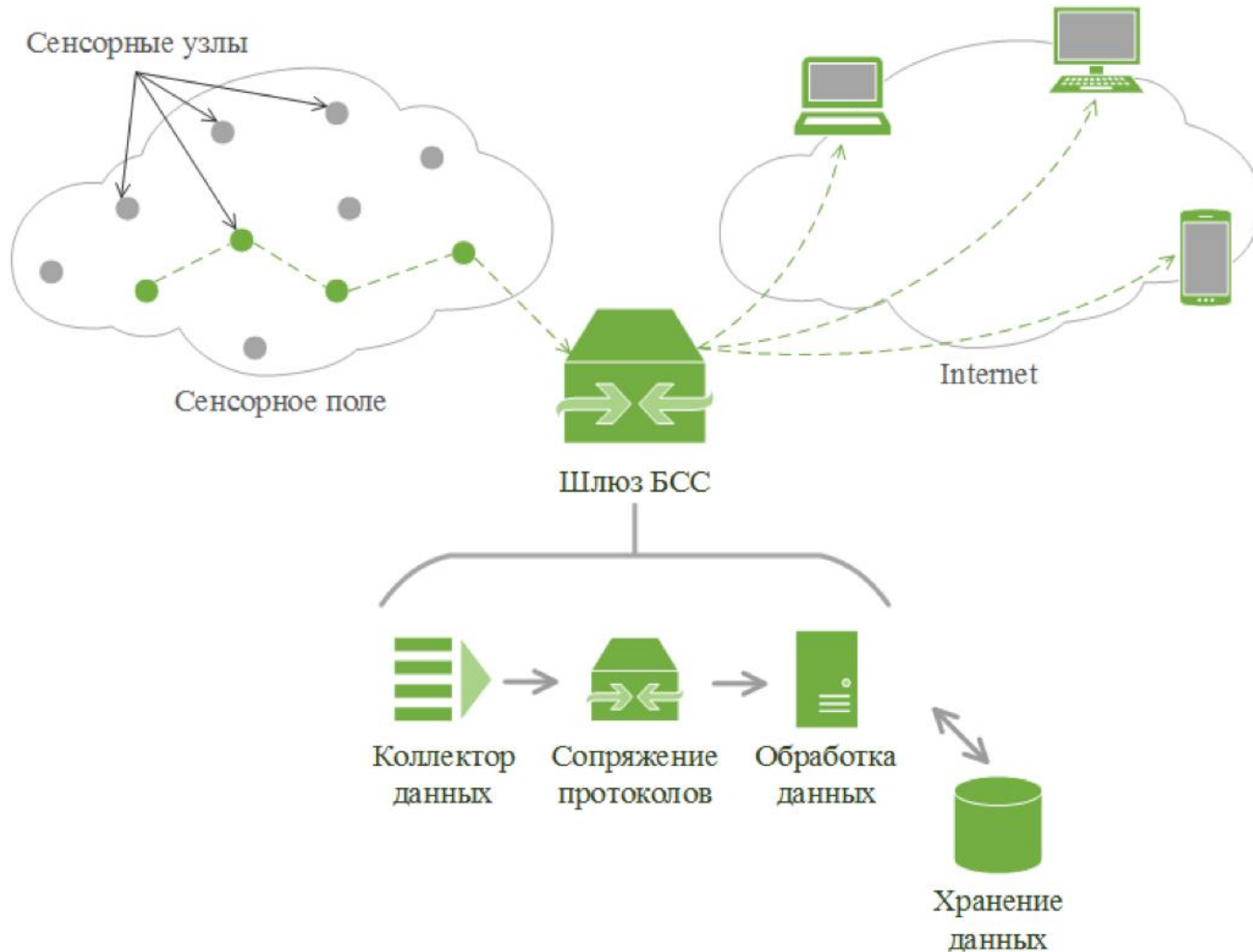


Концепция беспроводных сенсорных сетей

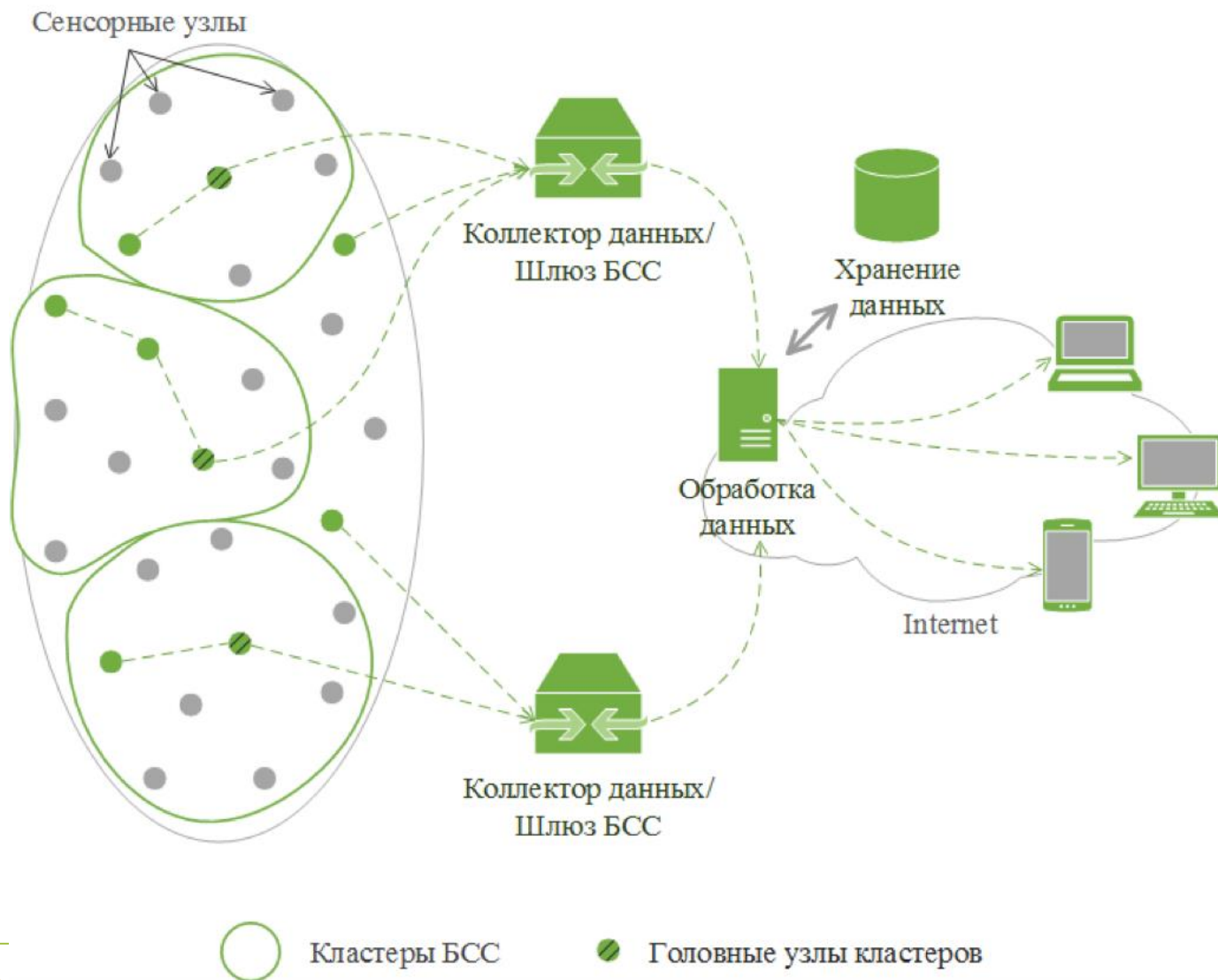
Такая концепция потребовала создания специальных протоколов беспроводной передачи данных:

- 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).

Концепция беспроводных сенсорных сетей



Концепция беспроводных сенсорных сетей



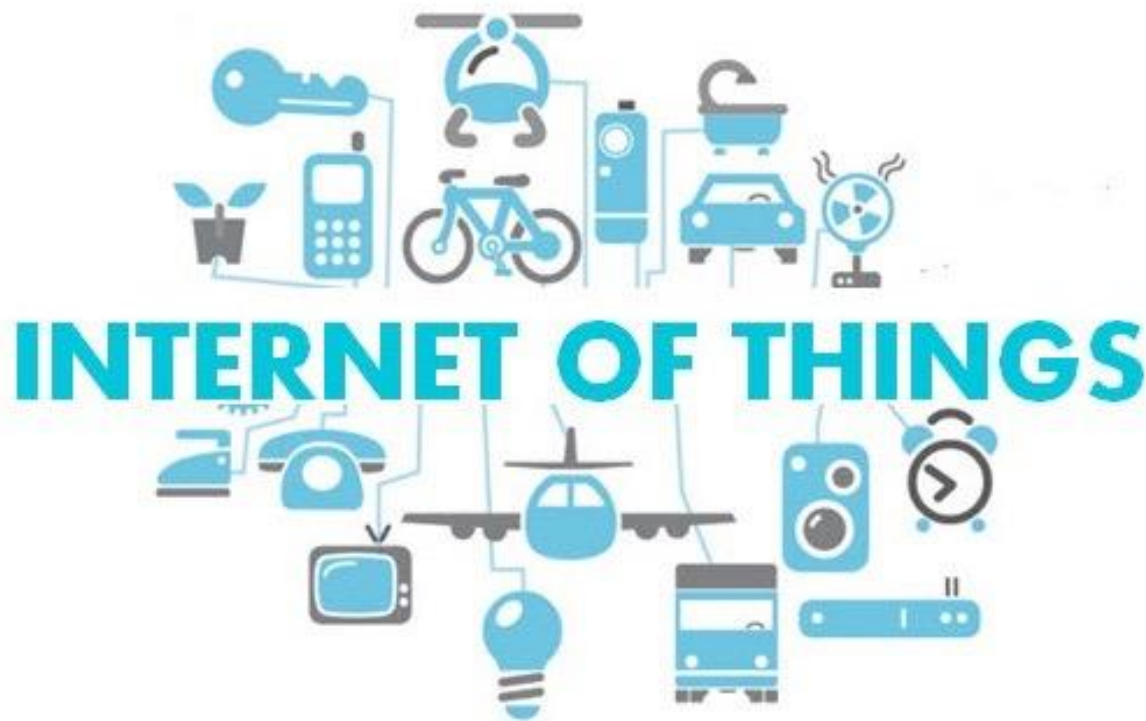
Концепция Всепроникающих сенсорных сетей

В рамках данной концепции подразумевается, что беспроводные сенсорные сети проникнут во все области человеческой деятельности, в мире будет функционировать несколько миллиардов беспроводных сенсорных устройств.

Происходит переход от БСС к Всепроникающим сенсорным сетям (Ubiquitous sensor networks, USN)

Концепция Интернета Вещей

Интернет Вещей (Internet of things, IoT) — концепция развития глобальной информационной инфраструктуры, являющаяся развитием концепции беспроводных сенсорных сетей.



Концепция Интернета Вещей

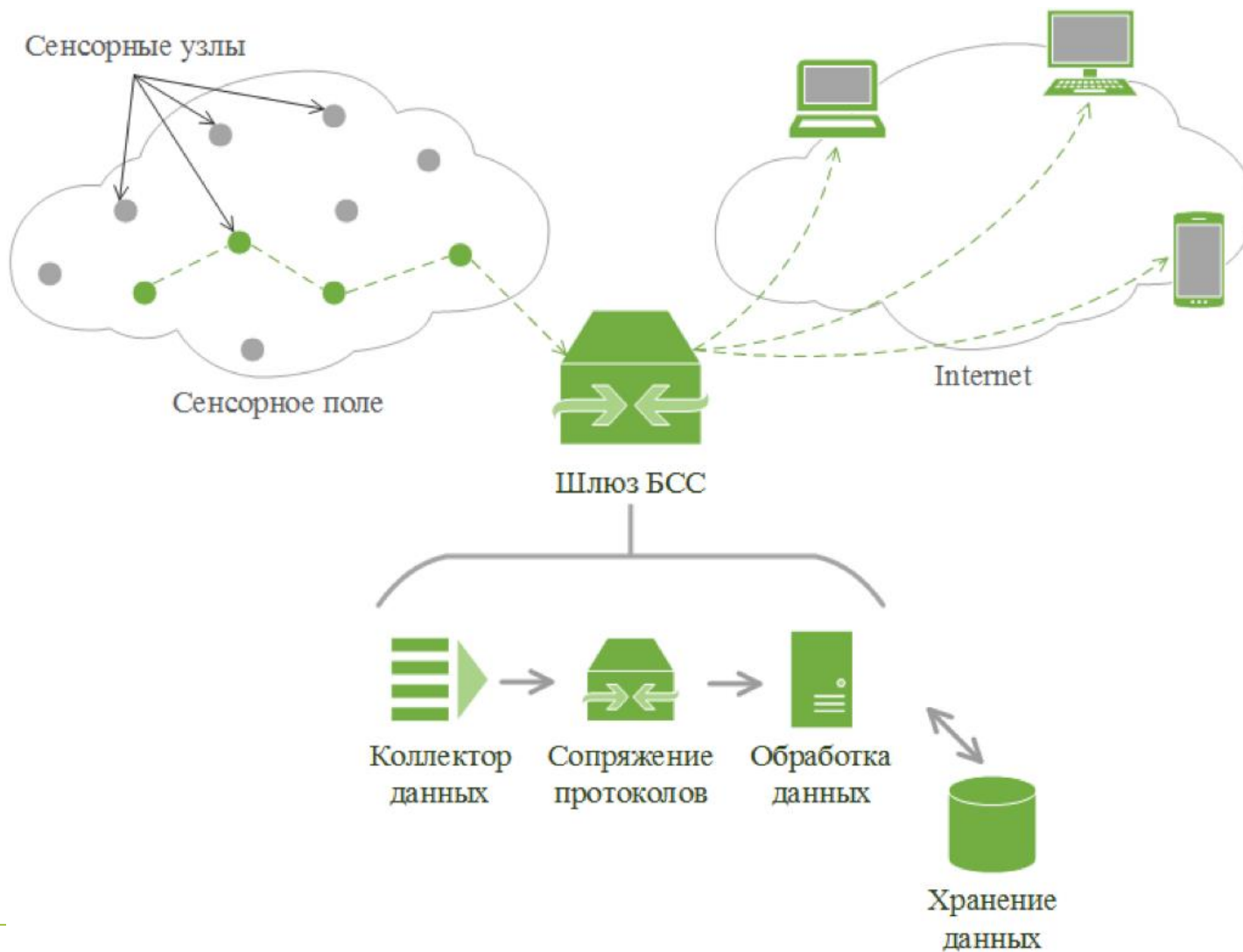


Концепция Интернета Вещей

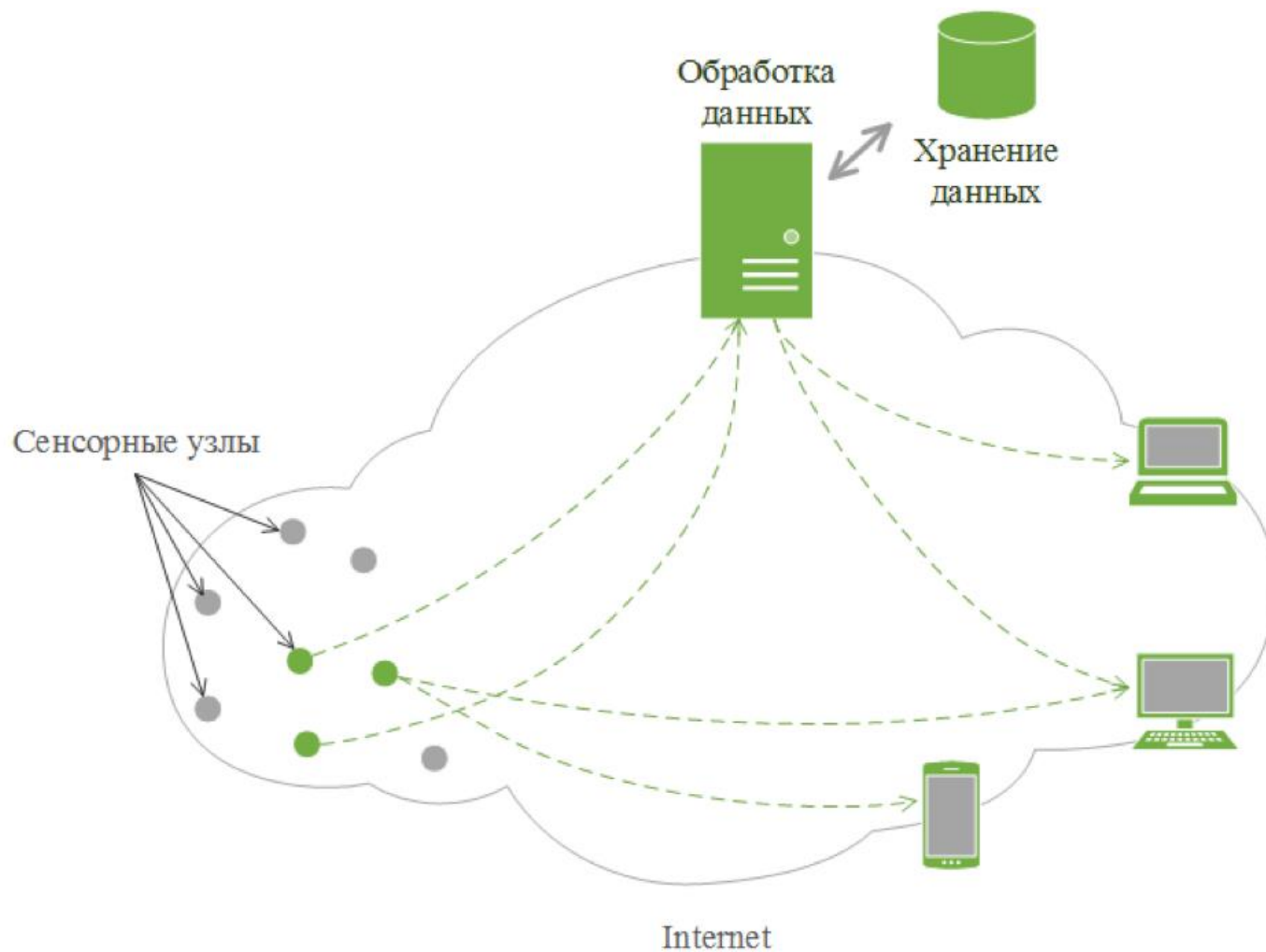
Важными (для нас) отличиями концепции Интернета вещей от предыдущих концепций являются:

1. отказ от специфичности сетей, к которым подключаются сенсорные узлы, включение этих узлов в те же сети, которые используются для общения между людьми, использование тех же протоколов связи;
2. отказ от специфично сенсорной функции устройств: любая вещь может быть подключена к телекоммуникационным сетям.

Концепция беспроводных сенсорных сетей



Концепция Интернета Вещей



План занятия

- История развития сенсорных сетей.
- Концепция беспроводных сенсорных сетей.
- Протоколы передачи данных в сенсорных сетях:
 - IEEE 802.11 (WiFi).
 - IEEE 802.15.1 (BlueTooth).
 - IEEE 802.15.4.
 - LoRa.
 - Другие.

Протоколы беспроводной передачи данных для сенсорных узлов

Протоколы связи:

- IEEE 802.11 (WiFi)
- IEEE 802.14.1 (Bluetooth)
- IEEE 802.14.5 (LR-WPAN)
- LoRa
- Использование технологий сотовых сетей, LTE-M
- Спутниковая связь
- Проприетарные протоколы

Особенность использования в сенсорных устройствах:

- Циклы «сон-работа»

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:

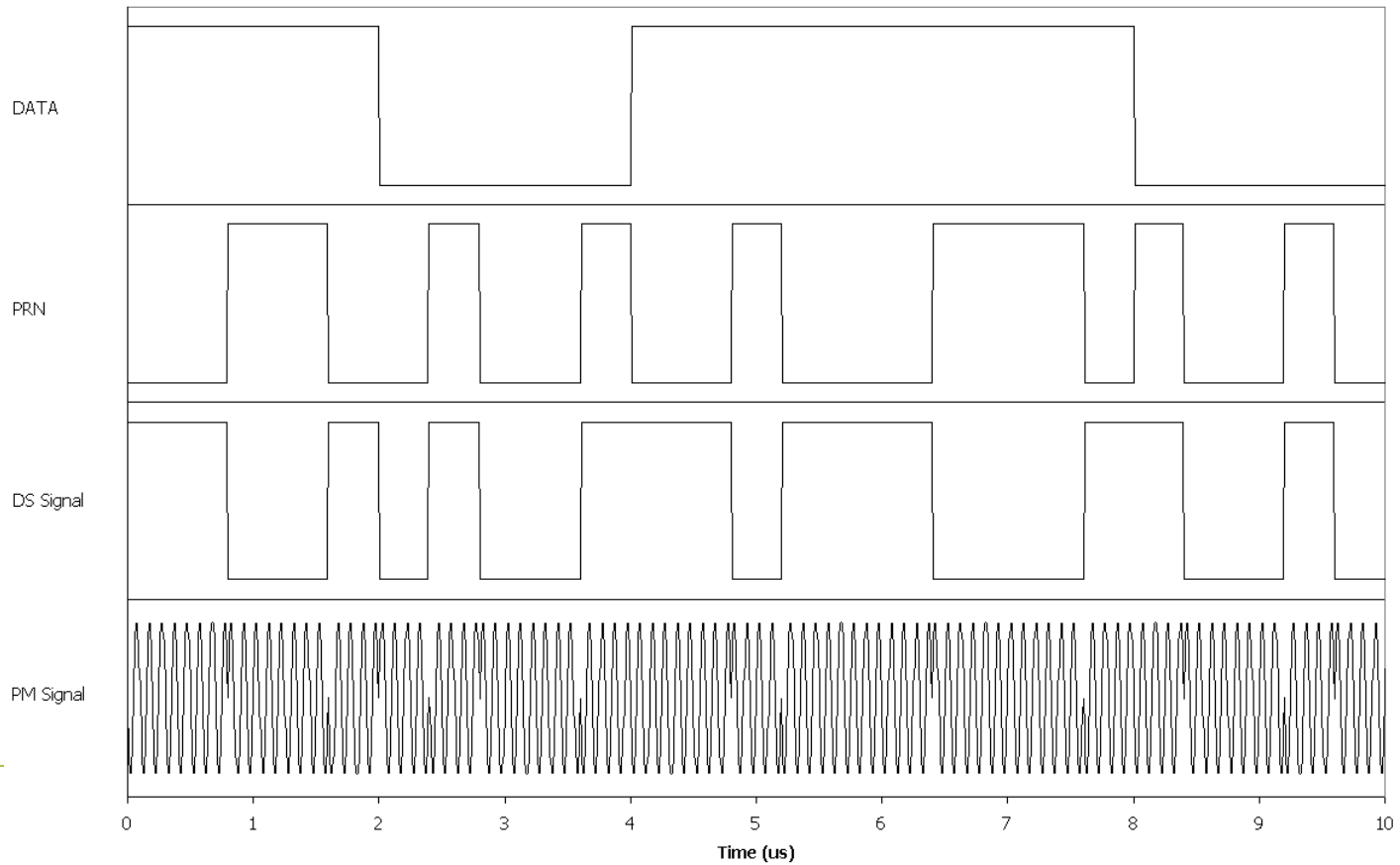
- DSSS — распределение спектра при помощи прямой последовательности
 - OFDM — мультиплексирование ортогональными несущими
- +Фазовая манипуляция, квадратурная амплитудная модуляция и др.

Дополнительное разделение каналов:

- MIMO — использование нескольких пространственно-распределенных антенн

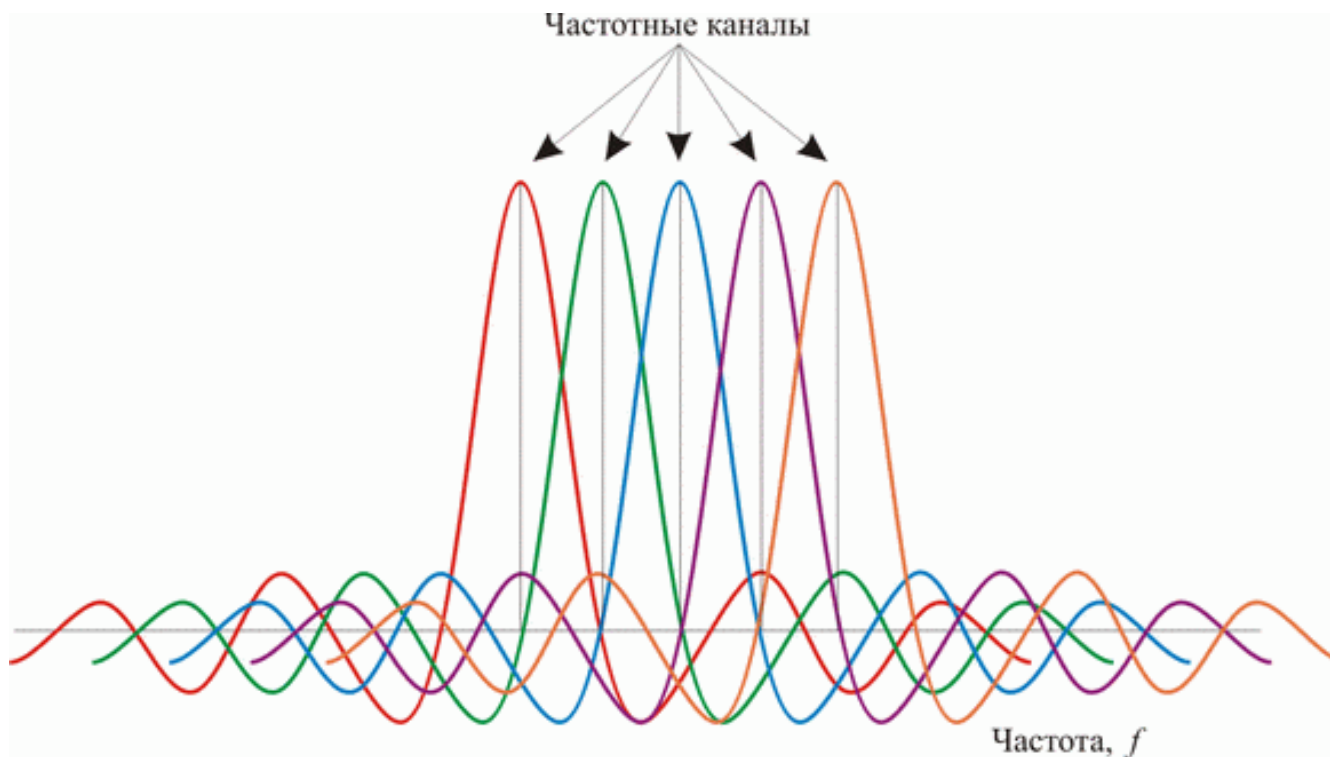
IEEE 802.11 (WiFi)

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.

IEEE 802.15.1 (Bluetooth)

Частота:

- 2,4 ГГц

Ширина полосы:

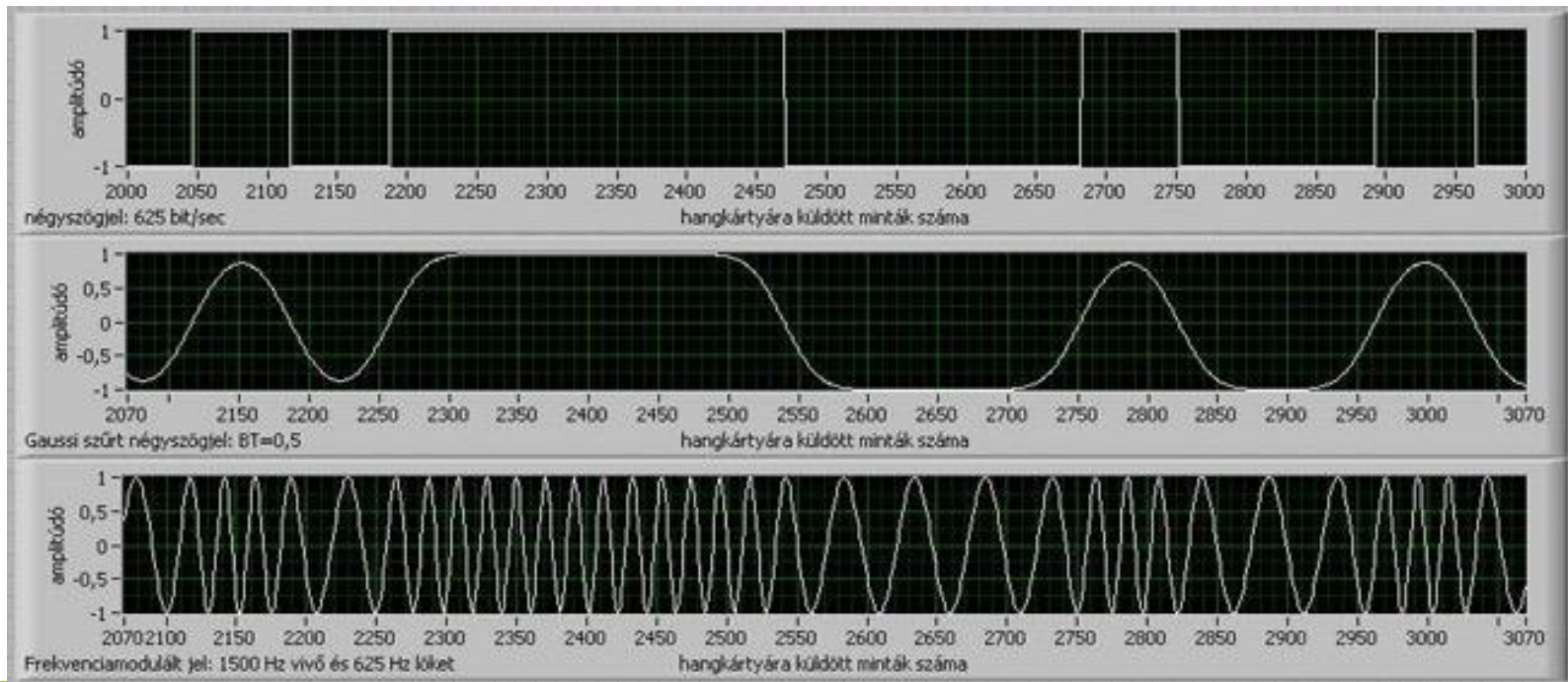
- 83,5 МГц

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)

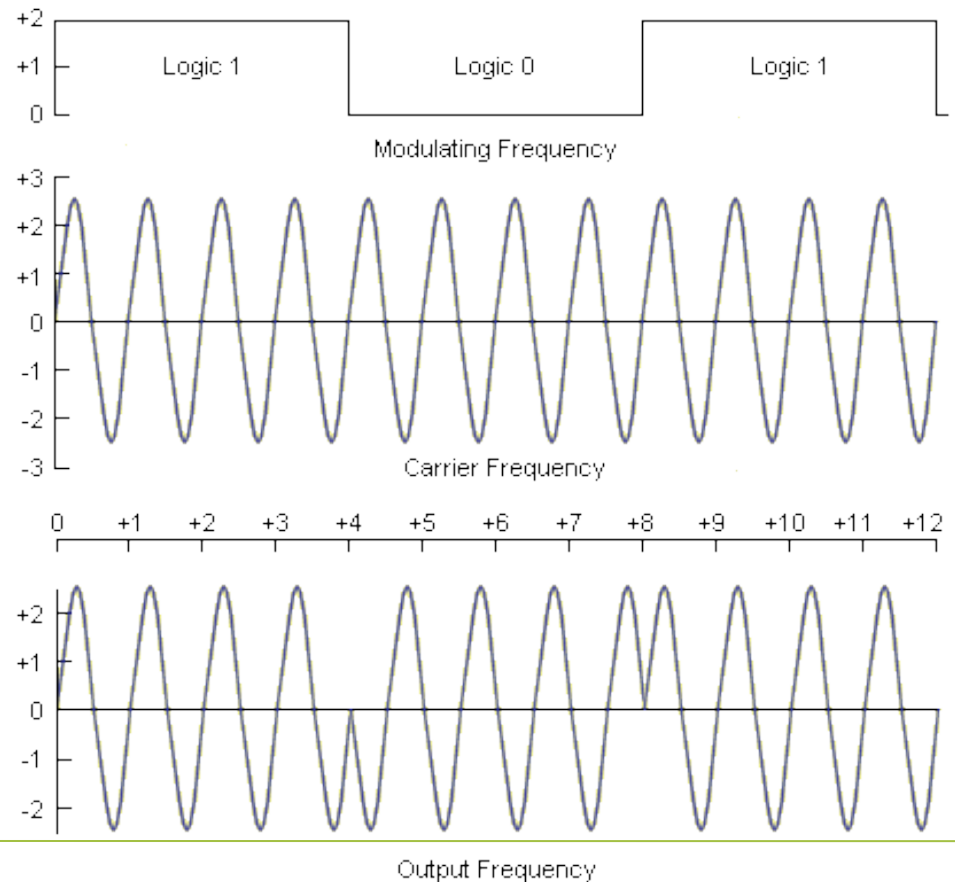
GFSK — Gaussian frequency-shift keying, частотная манипуляция со сглаживанием при помощи фильтра Гаусса



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.

IEEE 802.15.4

Частоты:

- 868 МГц
- 915 МГц
- 2450 МГц
- 1, 3, 5, 6-10 ГГц

IEEE 802.15.4

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

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.

Минусы:

- Низкая скорость передачи (но для многих приложений достаточно).
- Удивительно, но дороже WiFi (лицензионные отчисления).

LoRa (Long Range)

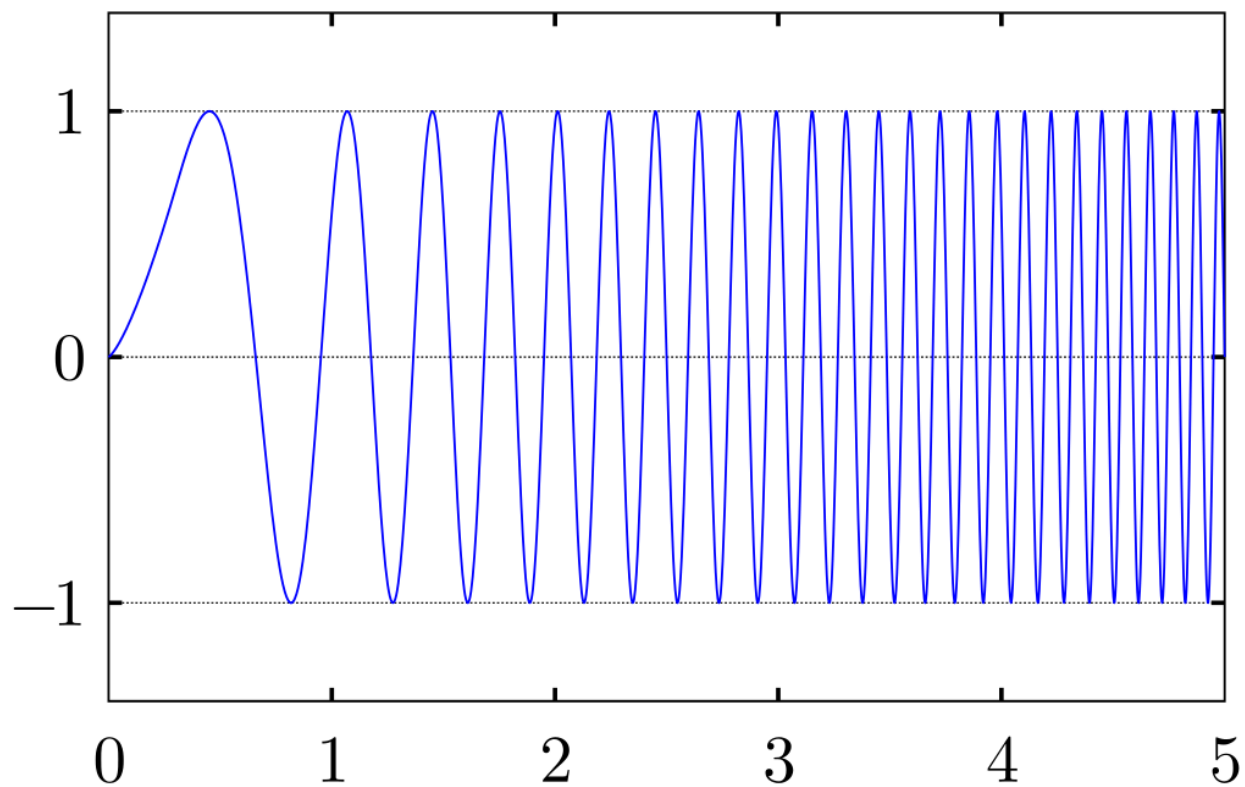
Частоты:

- 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.

Расстояние передачи:

- Более 10км

Энергопотребление:

- Низкое

LoRa (Long Range)

Плюсы:

- Низкое энергопотребление.
- Большое расстояние передачи.

Минусы:

- Низкая скорость передачи.
- Проприетарная технология модуляции.

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 и NB-IoT, позволяющие осуществлять передачу данных с низкими затратами электроэнергии.

Спутниковая связь

Спутниковая связь также может использоваться для организации связи сенсорных сетей, что позволяет, в частности, получать данные из удаленных регионов без других способов связи. При этом:

- 1) Сотовая связь будут использоваться не для связи 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.