

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

# Беспроводные сенсорные сети – основополагающая технология Интернета вещей

д.т.н., доц. Киричѐк Р. В.

СПб ГУТ)))

# Сенсорная сеть

- распределённая, самоорганизующаяся сеть множества датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств, объединённых 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.
- USN (Ubiquitous Sensor Networks) – одна из самых перспективных технологий 21 века

# Сенсорная сеть

- В зависимости от типов сенсоров может быть развернута на земле, в воздухе, под и над водой, внутри живых организмов
- Применение: военное дело, управление кризисными и чрезвычайными ситуациями, борьба с терроризмом и тд
- Все сенсоры д.б. построены в соответствии с опр.архитектурой: сенсорное устройство, память, антенна, источник питания

# Основные требования к USN

- Объединение большого числа сенсоров в сеть
- Низкое потребление энергии
- Самоорганизация сети

## **Объединение большого числа сенсоров в сеть**

- Стационарное положение сенсоров
- Их количество может достигать нескольких десятков тысяч
- Масштабируемость сети
- Развитие мобильных всепроникающих сенсорных сетей

# Низкое потребление энергии

- Нахождение сенсоров в труднодоступных местах
- Замена или зарядка источника питания – сложно выполняемая задача
- Время жизни сенсора ограничено временем жизни сенсора
- Автономные источники питания, например солнечные батареи ( но оно ограничивает область применения сенсоров)

## Самоорганизация сети

- Сенсоры распределяются случайным образом по некоторой заданной траектории
- Такой набор сенсоров должен самоорганизовываться в сеть, тк участие администратора невозможно
- Самоорганизация должна быть динамическая, на случай уничтожения или выхода из строя сенсора

## Современное состояние развития сенсорных сетей

- Разработаны технологии, позволяющие производить сенсоры малого размера, оснащенные достаточным количеством процессорной мощности и памяти
- Оптимизация различных алгоритмов и протоколов, снижение энергопотребления сенсорами
- Снижение стоимости сенсоров

# Архитектура сенсорных сетей

- Это самоорганизующиеся Ad Hoc сети, в которых нет общей архитектуры, за исключением шлюзов связи с другими сетями
- Каждый из узлов должен иметь возможность функционировать как конечный и как транзитный узел
- Сенсорная сеть – большое количество сенсоров, распределенных в некоторой области с достаточно высокой плотностью
- В области покрытия радиосигнала должен находиться минимум еще один сенсор

# Архитектура сенсорных сетей

- Чем больше соседей у каждого из сенсоров – тем более высокой точностью и надежностью обладает сенсорная сеть
- Высокая плотность распределения в пространстве
- Присоединение к сети связи общего пользования
- Присоединение реализуется при помощи некоторого шлюза, выполняющего и функции защиты
- Шлюз как правило не является сенсором, а представляет собой более стабильный сетевой узел
- В большой сенсорной сети должна быть структуризация

# Архитектура сенсорных сетей

- Предпочтительна кластерная организация
- Наиболее известный механизм для обеспечения функционирования сенсорных сетей и выбора головных узлов – это **LEACH** (Low Energy Adaptive Cluster Hierarchy)
- LEACH предусматривает вероятностный выбор сенсорного узла на роль головного в начале функционирования сенсорной сети

# Алгоритм HEED

- Hybrid Energy – Efficient Distribution
- Использует гибридный критерий для выбора головного узла на основе анализа остаточной энергии и расположения близлежащих узлов
- Максимизация длительности функционирования сенсорных узлов и сети в целом
- Задача качества обслуживания
- Непрерывность мониторинга

# Алгоритмы маршрутизации USN

- Невозможность использования классических алгоритмов маршрутизации для сенсорных сетей в виду отсутствия у них постоянной инфраструктуры
- При разработке схем маршрутизации должны учитываться следующие факторы:
  - Самоорганизация
  - Энергетическая эффективность
  - Гибкость
  - Масштабируемость
  - Толерантность к отказам
  - Точность и качество

# Классификация алгоритмов маршрутизации в USN

| Критерий               | Категория                     | Примеры            |
|------------------------|-------------------------------|--------------------|
| Сетевая структура      | Одноуровневая                 | SPAN               |
|                        | Иерархическая                 | LEACH              |
| Знания о ресурсах      | На основе остаточной энергии  | HEED               |
|                        | На основе точности располож-я | Directed Diffusion |
| Управления протоколами | Централизованное              | SPAN               |
|                        | Географическое                | GFG                |
|                        | На основе QoS                 | SAR                |
|                        | На основе теории очередей     | COUGAR             |

# Что такое “ZigBee”?

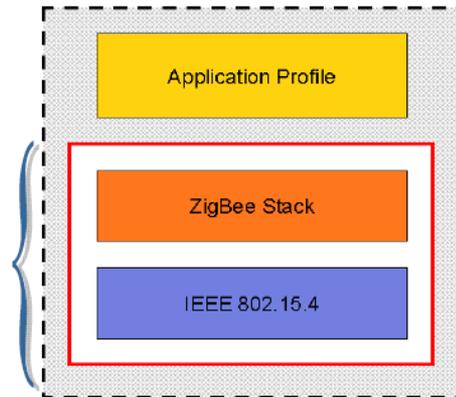
---

Термин 'ZigBee' обозначает две вещи:

- ▶ 1. Глобальный **открытый** стандарт для построения беспроводных сетей низкой стоимости малопотребляющих устройств: датчиков, устройств домашней автоматизации, медицинских устройств и т.д.
- ▶ 2. Всемирный альянс компаний, образованный в 2002г: Учредители (Promoters - 11 включая SiLabs), Участники (Participants – включая Telegesis) и Последователи (Adopters – всего более 400).

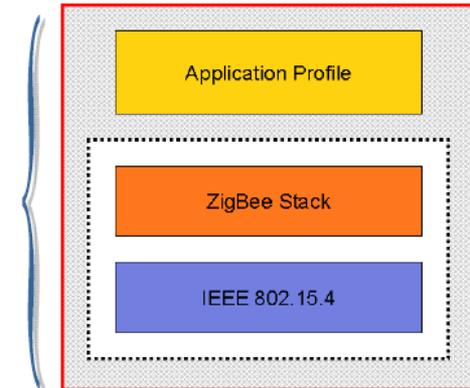
# ZigBee-совместимость

Совместимость  
на уровне стека



позволяет устройствам:  
-работать в одной сети  
-обмениваться между собой сообщениями.

Совместимость  
на уровне  
приложения



позволяет устройствам:  
- работать в одной сети  
- обмениваться между собой сообщениями  
- **понимать друг друга на прикладном уровне**



# НОВЫЕ СПЕЦИФИКАЦИИ



# Сравнение спецификаций ZigBee

|                      | ZigBee RF4CE                                 |                     | ZigBee PRO                          |                    |                        |                   |                        |                         |                         | ZigBee IP                            |  |
|----------------------|--|---------------------|-------------------------------------|--------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--|
| Application Standard | ZigBee Remote Control                        | ZigBee Input Device | ZigBee Building Automation          | ZigBee Health Care | ZigBee Home Automation | ZigBee Light Link | ZigBee Retail Services | ZigBee Smart Energy 1.x | ZigBee Telecom Services | ZigBee Smart Energy 2.0              |  |
| Network              | ZigBee RF4CE                                 |                     | ZigBee PRO                          |                    |                        |                   |                        |                         |                         | ZigBee IP                            |  |
| MAC                  | IEEE 802.15.4 – MAC                          |                     |                                     |                    |                        |                   |                        |                         |                         | IEEE 802.15.4 - MAC                  |  |
| PHY                  | IEEE 802.15.4 Sub-GHz (specified per region) |                     | IEEE 802.15.4 – 2.4 GHz (worldwide) |                    |                        |                   |                        |                         |                         | IEEE 802.15.4 2006 - 2.4GHz or other |  |

## Спецификация IEEE 802.15.4g

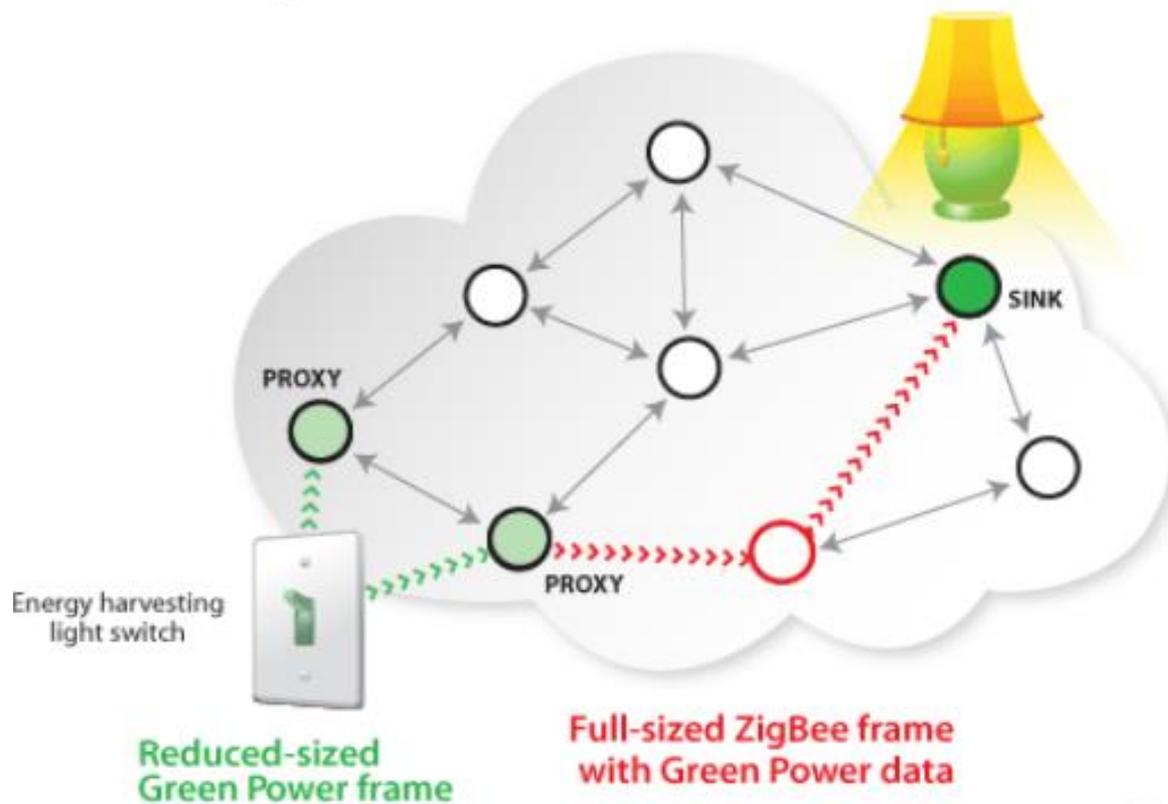
- Изменения, позволяющие строить беспроводные меш-сети в диапазоне от 700 МГц – 1ГГц.
- Скорость передачи – от 40кбит/с – 1Мбит/с
- Механизмы реализации больших сетей до 1000 устройств.

## Поддержка регулирующих органов

- Требовалось расширение нелицензируемого диапазона на частотах < 1 МГц для удовлетворения стандарту IEEE 802.15.4g

|        | ZigBee                             | Россия          |
|--------|------------------------------------|-----------------|
| 2007г. | 868,0 – 868,6 МГц<br>902 – 928 МГц | 868,0-868,2 МГц |
| 2012г. | 700 – 1000 МГц                     | 868,0-868,2 МГц |

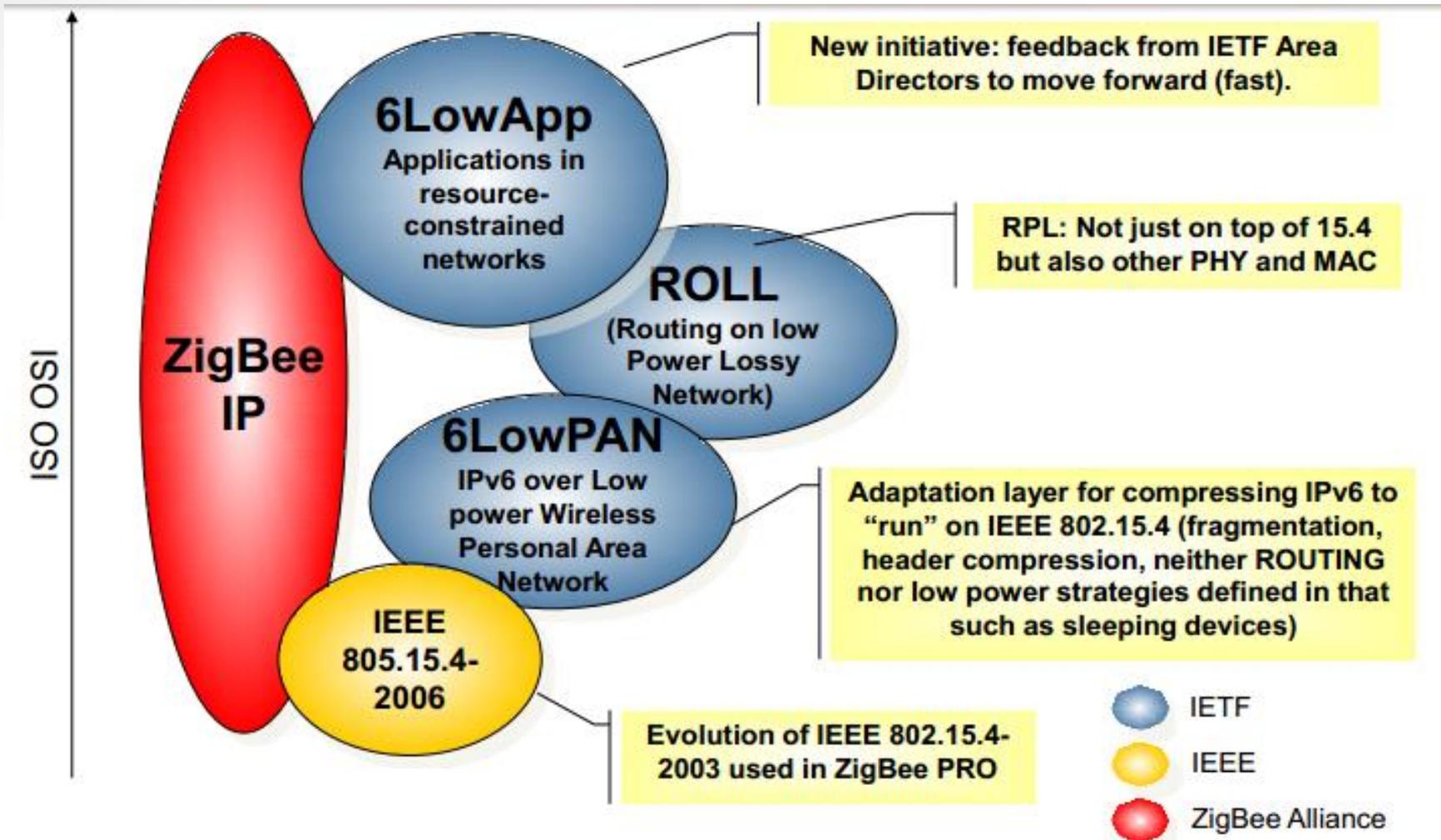
# ПРОТОКОЛ GREEN POWER



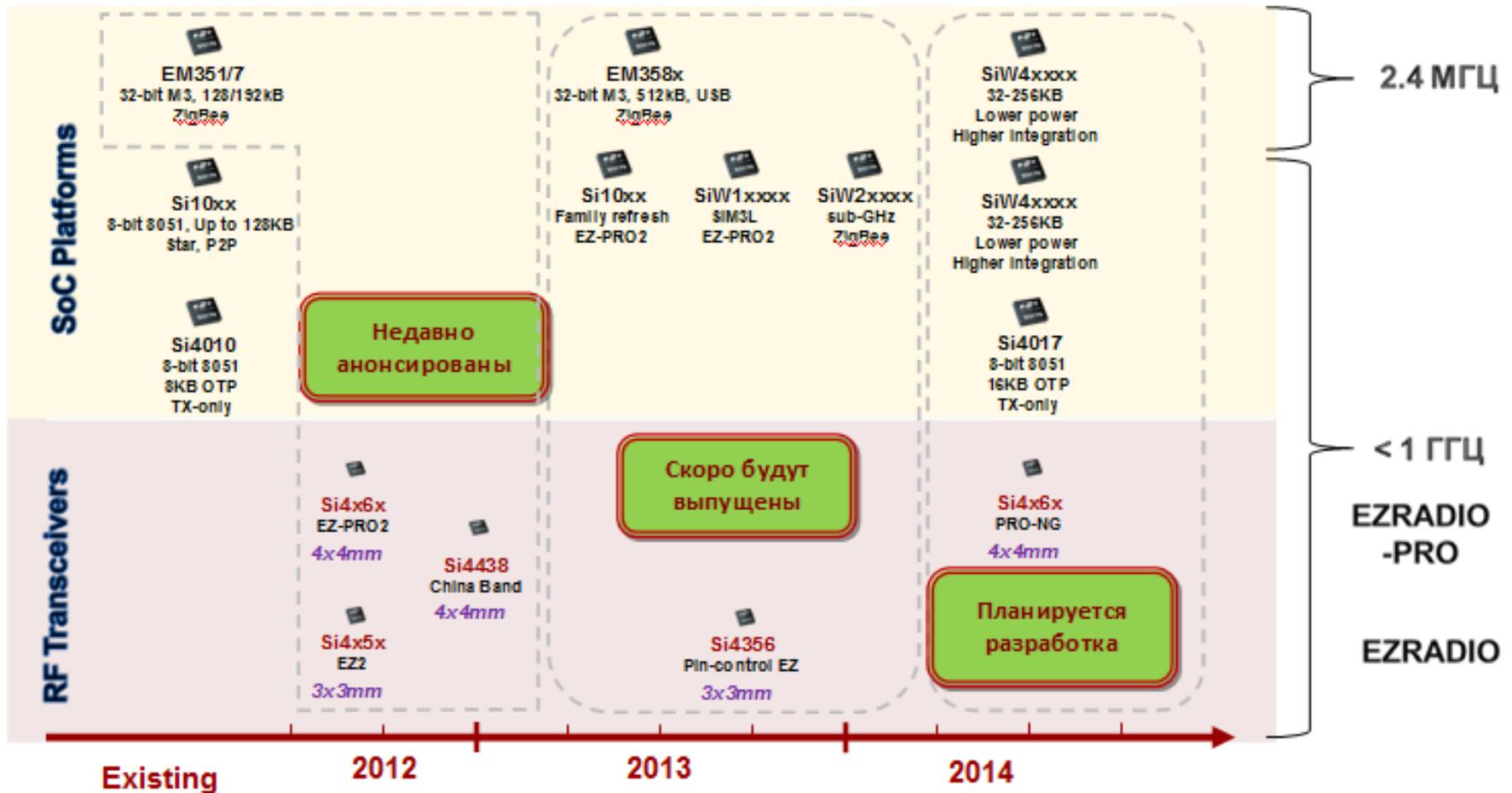
ZigBee PRO 2012 Mesh Network



# Спецификации ZigBee IP



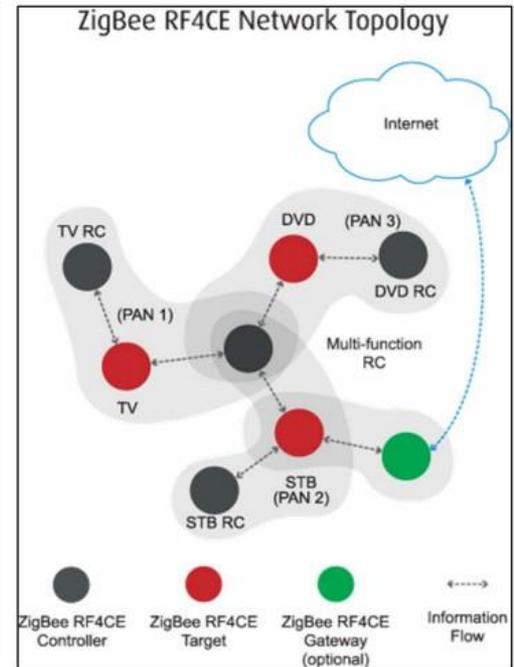
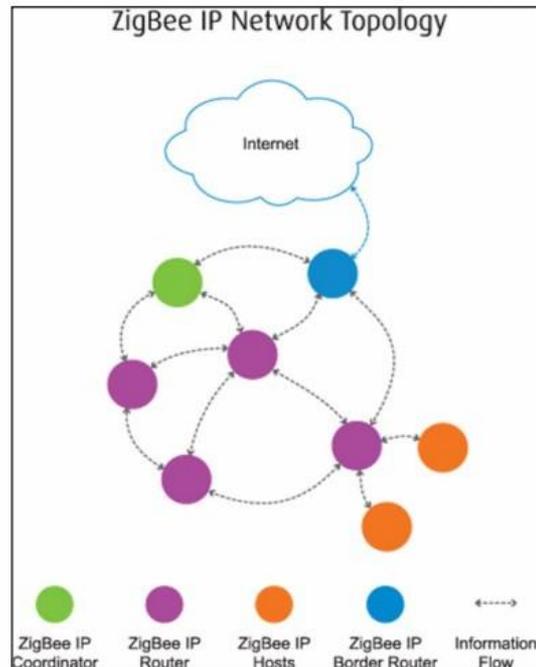
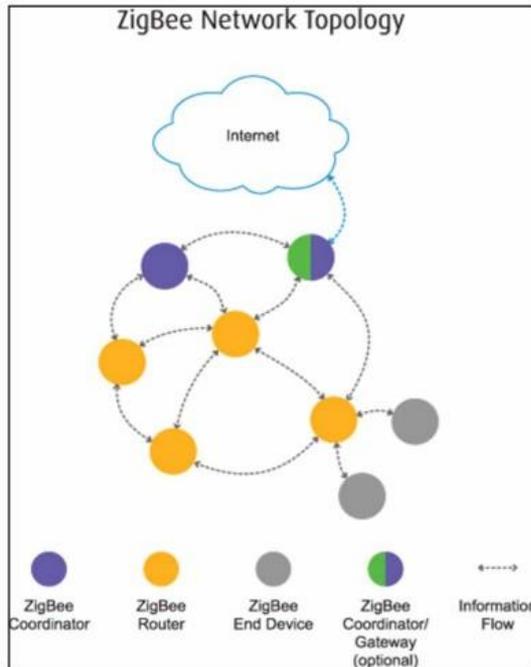
# Объединение усилий



# Развитие программного

|                        | Пользовательское решение   | One-Way Link     | WMBus      | Ember Connect             |
|------------------------|----------------------------|------------------|------------|---------------------------|
| Инструменты разработки | Определяется пользователем | Ember AppBuilder | OMS        | Ember AppBuilder          |
| Network Layer          | Определяется пользователем | Silicon Labs     | WMBus      | Silicon Labs              |
| Link Layer             | Определяется пользователем | Silicon Labs     | WMBus      | IEEE 802.15.4             |
| Physical Layer         | Sub-GHz                    | Sub-GHz          | Sub-GHz    | IEEE 802.15.4g<br>Sub-GHz |
| Микросхемы             | EZRadio/PRO                | Si4010+Si435x    | SiW1x      | Si106x/8x                 |
| Доступность            | -                          | Beta 3Q13        | 2Q13 (est) | Beta 1Q14                 |

# Топологии ZigBee



# Основные характеристики сетей ZigBee PRO



- **Особенности:**

- ▶ Диапазоны - 868, 915 и 2,4 ГГц

- ▶ В диапазоне 2,4 ГГц 16 каналов с шагом 5 МГц

- ▶ Топология - ячеистая сеть

- ▶ Самоорганизация и самовосстановление сети

- ▶ Автоматическая ретрансляция сообщений

- ▶ Поддержка мобильных узлов и узлов с батарейным питанием



- **Пропускная способность (зависит от плотности сети):**  
в среднем 19,200 кбит/с

- **Радиус действия (зависит от обстановки):** **внутри**  
помещения: до 30-40 м  
**вне** помещения: до 800 м



# Диапазон 2,4 ГГц: хорошо или плохо?



- **Достоинства:**

Диапазон 2,4 ГГц выделен для технологий, которые могут работать на одной территории одновременно (более высокая помехоустойчивость)

Более высокая скорость передачи данных

Возможность организовать меш-сети БОльших размеров

- **Недостаток:**

Меньшее расстояние между узлами.

Увеличение зоны покрытия достигается путем ретрансляций



# Топологии сетей

## ZigBee

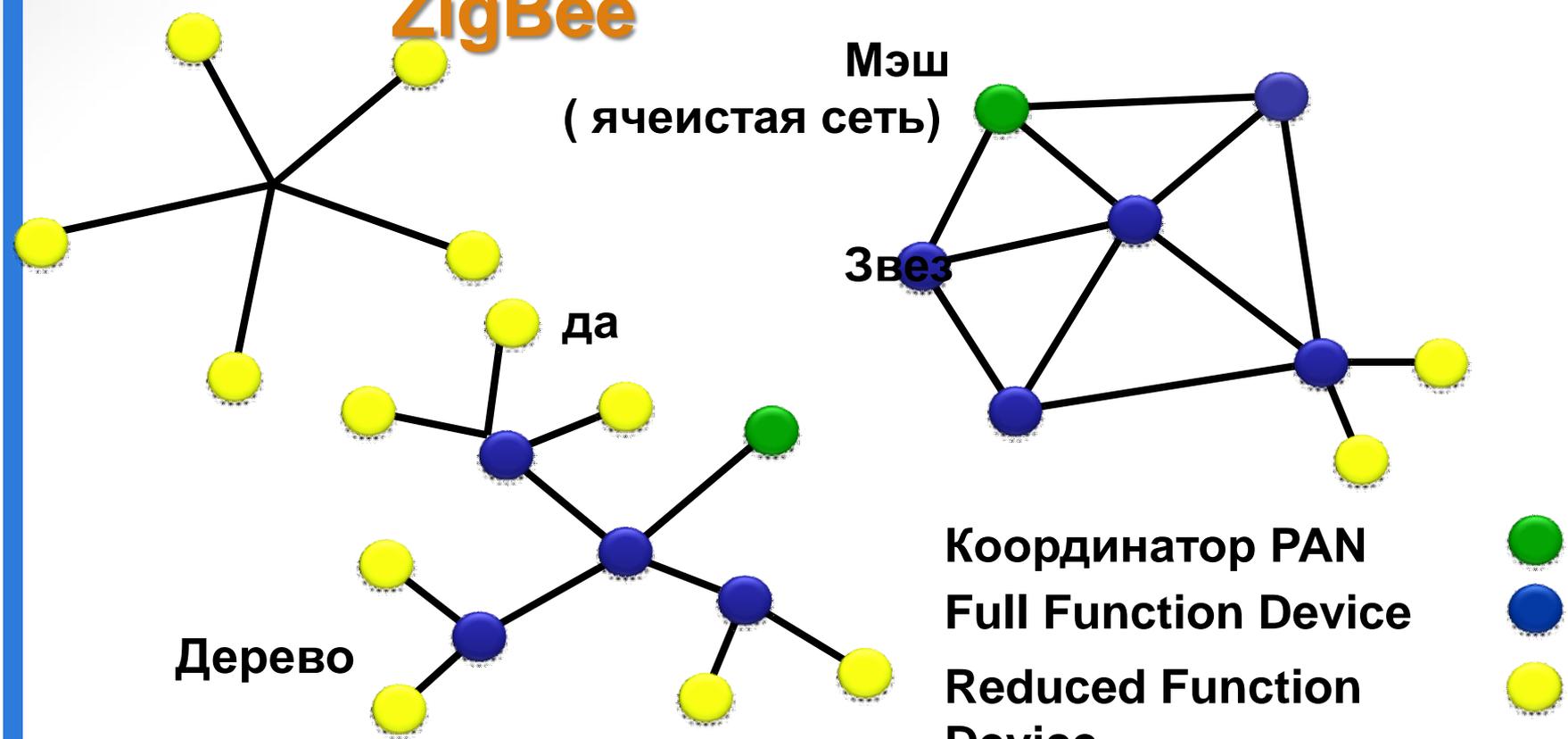
Мэш  
(ячеистая сеть)

Звез

да

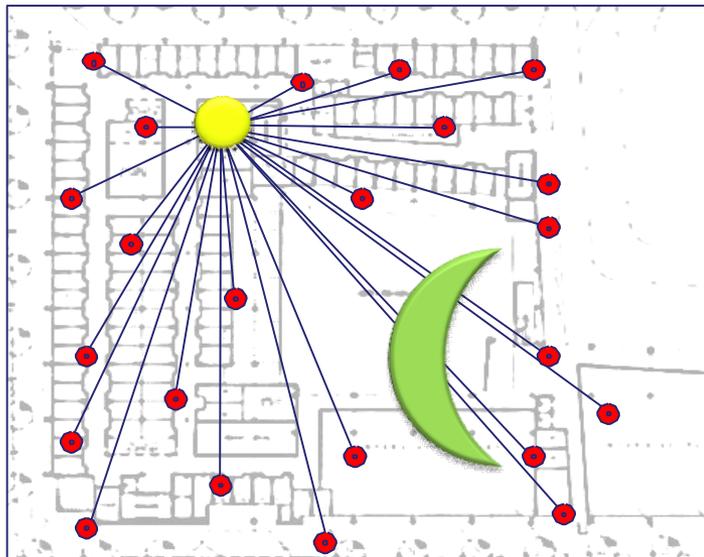
Дерево

Координатор PAN  
Full Function Device  
Reduced Function Device

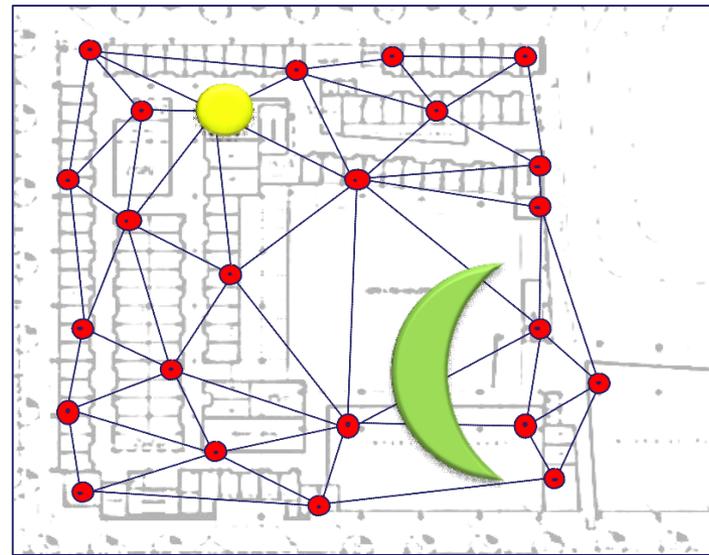


# Звезда против мѐш-сети

**Wi-Fi,Bluetooth,GSM**



**ZigBee**



# Типы устройств

| ZigBee Type   | Notes  |
|---|--|
| ZigBee Coordinator (ZC/COO)   | Обязательное и единственное устройство в сети  |
| ZigBee Router (ZR/FFD)  | Не может переходить в режимы пониженного энергопотребления                             |
| ZigBee End Device (ZED/RFD)<br>-Mobile End Device (MED)<br>-Sleepy End Device (SED) | Не ретранслирует пакеты<br>Мобильное конечное устройство<br>Спящее конечное устройство |



ZC ИЛИ COO



ZR ИЛИ FFD



ZED ИЛИ RFD

# Адресация



64-битный глобальный уникальный адрес, назначаемый каждому устройству при производстве и никогда не изменяемый

16-битный сетевой уникальный адрес, назначаемый каждому устройству, когда оно присоединяется к сети, может изменяться

8-битный логический адрес внутри устройства ("port"); Каждое приложение или сервис занимает конечную точку

16-битное поле используемое как специализированный для приложения тип сообщения (NB: в стеке 2.x это поле имеет 8-разрядов)



## **Руслан Киричёк**

Руководитель группы МСЭ-Т по вопросу "Тестирование Интернета вещей, его приложений и систем идентификации"

Эксперт Росстандарта по международной стандартизации  
Руководитель лаборатории Интернета Вещей СПбГУТ

Тел: +7 812 3051265

WWW: [iotlab.ru](http://iotlab.ru), [seti.sut.ru](http://seti.sut.ru)

E-mail: [kirichek@sut.ru](mailto:kirichek@sut.ru)