

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

Сетевые технологии Интернета Вещей

д.т.н., доц. Р.В. Киричѐк

СПб ГТУ)))

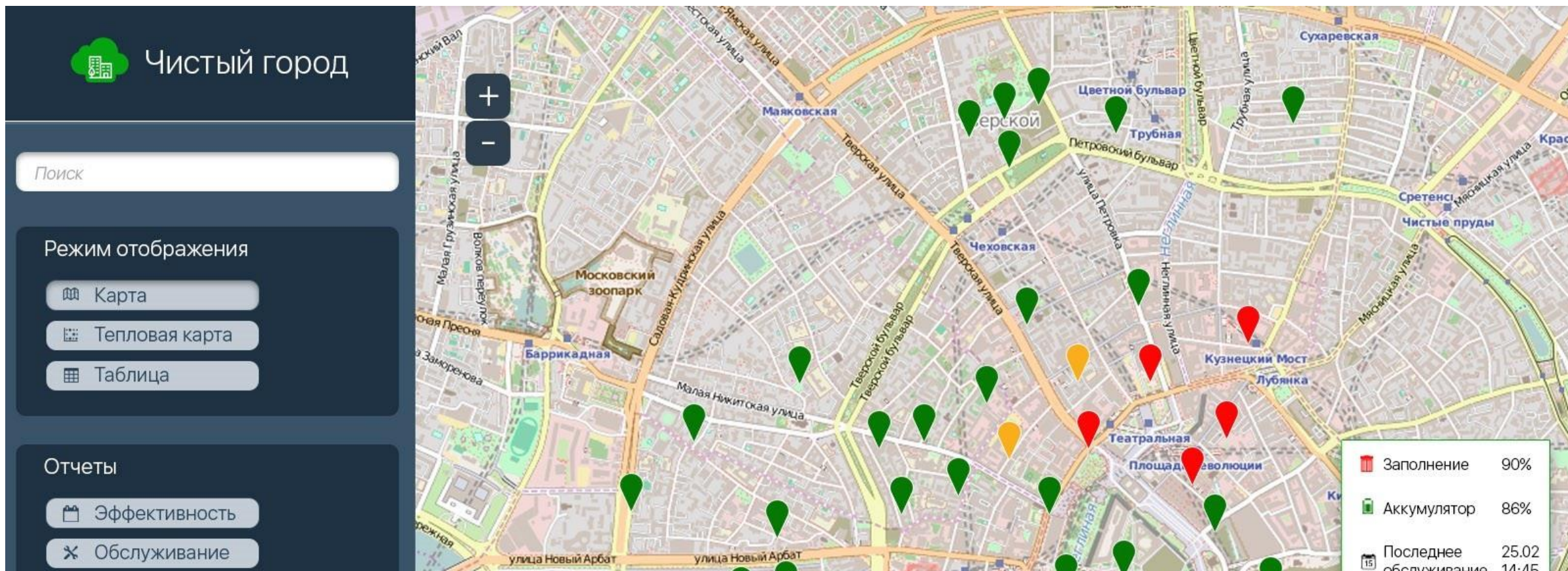
Умный город / Удобный город

- Множество устройств, умеющих сообщать о своём состоянии и принимать команды

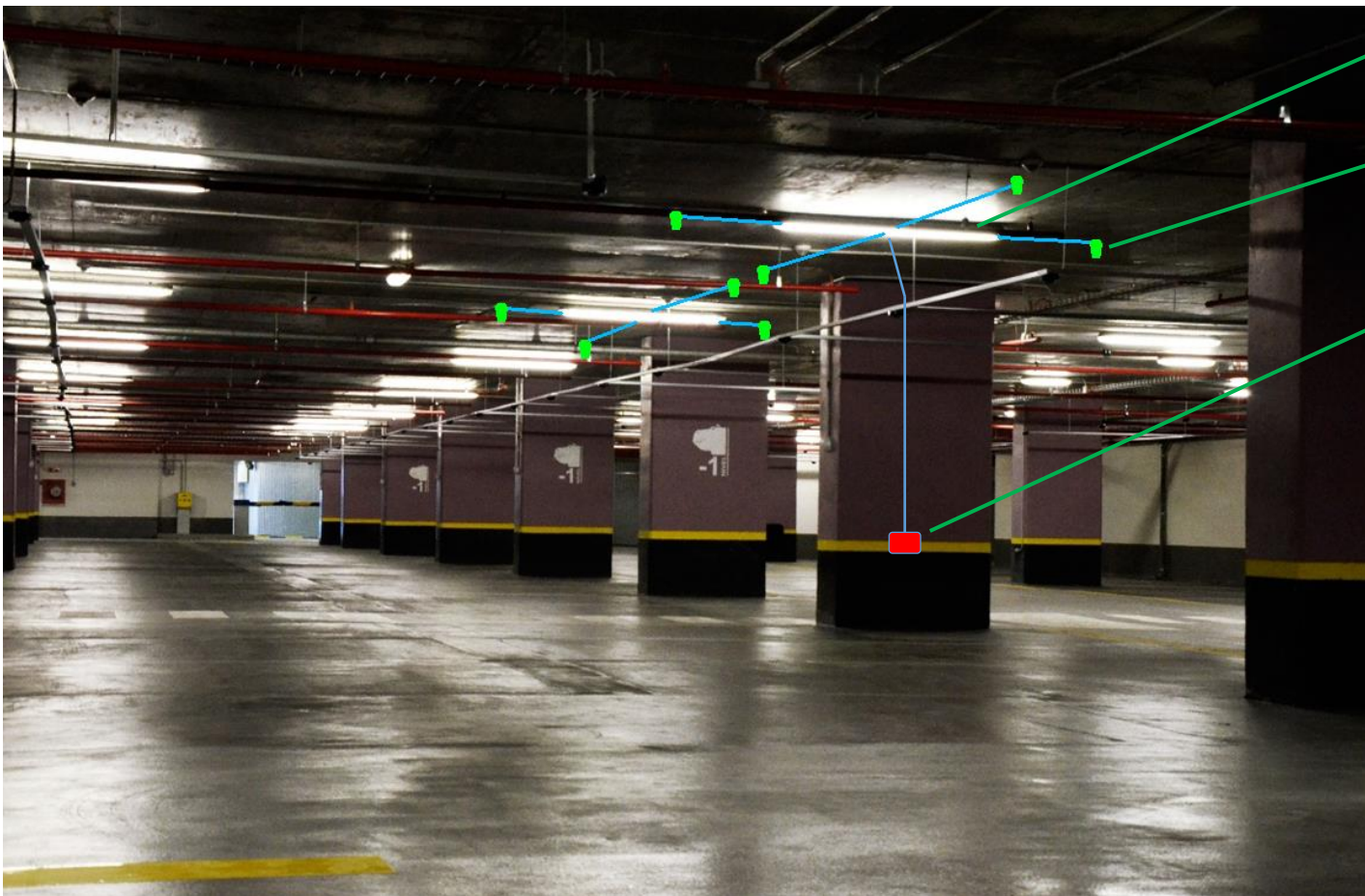


Умный город / Удобный город

- Удобный способ контроля состояния городского хозяйства



Умная и экономная парковка



LED-лампы

С интегрированными Bluetooth-маяками

Ультразвуковые датчики

До 4 датчиков на лампу

Датчики окружающей среды

CO, CO₂, другие газы, температура, влажность

Без дополнительной проводки

Ячеистая сеть и датчики интегрированы в LED-лампы

Индивидуальное диммирование ламп

Объективный контроль систем HVAC

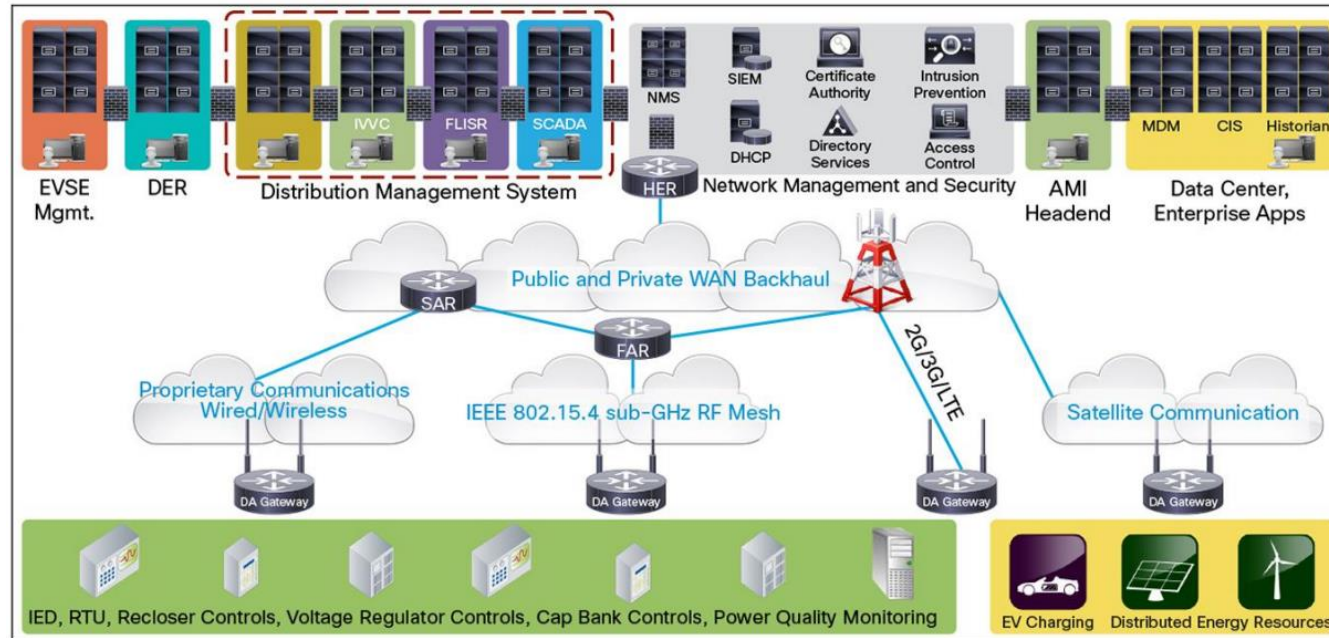
Функция “Найти свободное место”

Определение местоположения по Bluetooth

Функция “Найти мою машину”

С мобильным приложением

Пример построения IoT-сети: компания Cisco



(Source: Cisco)

серии

915 МГц)


для всей сети

работа интегратора

Устройство с мозгами


Выбираем базовую платформу

Микрокомпьютеры




Рынок DIY и
образования

Arduino
Raspberry Pi
и их последователи



Китайские
модули

SoC для роутеров
Процессоры ARM



Рынок
встраиваемых
решений

SoC для роутеров
Процессоры ARM

Arduino

- Референсный дизайн Atmel ATmega AVR
- 8-битный микроконтроллер базового уровня
- Собственная среда разработки на C
- Примитивный HAL (уровень абстракции)
- Большой выбор готовых библиотек для типовых проектов
- Невысокое качество кода и проблемы совместимости библиотек

Raspberry Pi

- Высокая производительность и ОС Linux
- Маркетинговый проект Broadcom и Farnell
- Конструктив не приспособлен для встраиваемого применения
- Продажа в B2B официально не осуществляется
- Больше 10 штук в одни руки могут не дать
- Стабильность поставок не гарантируется

Китайские микрокомпьютеры

- Диапазон от AVR до многоядерных Cortex-A*
- Никакой поддержки на уровне ПО
- Большинство производителей не имеет в штате инженеров
- «Настоящие» производители не занимаются поддержкой и кастомизацией на партиях ниже десятков тысяч штук
- Стабильность поставок и одинаковость устройств в разных партиях никто не гарантирует

Рынок встраиваемых решений

- Диапазон от Cortex-M до многоядерных Cortex-A*
- Форм-факторы, оптимизированные под применение в качестве встраиваемого микрокомпьютера
- Поддержка в разработке ПО и «железа»
- Возможность кастомизации при заказе от 500-1000 штук
- Долгосрочное планирование поставок

Starterkit.ru

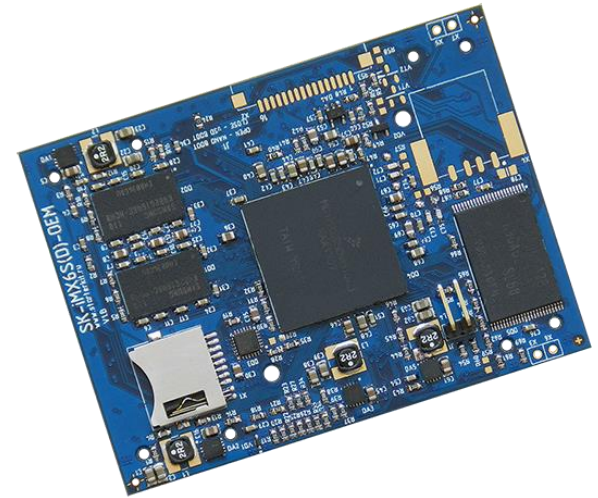
- Встраиваемые компьютеры на ядрах Cortex-M и Cortex-A



Cortex-A9
2 × 1 ГГц
Формат SODIMM



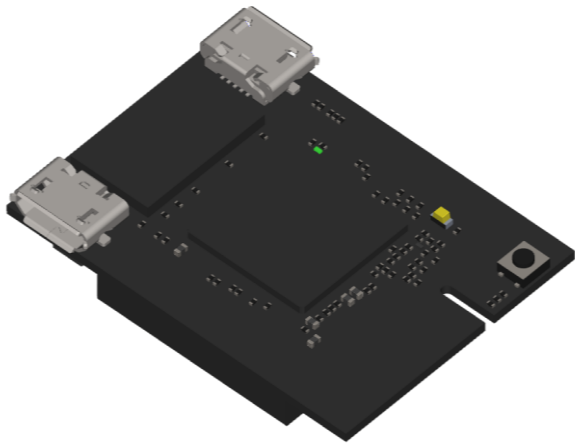
Cortex-A5
528 МГц
Формат SODIMM



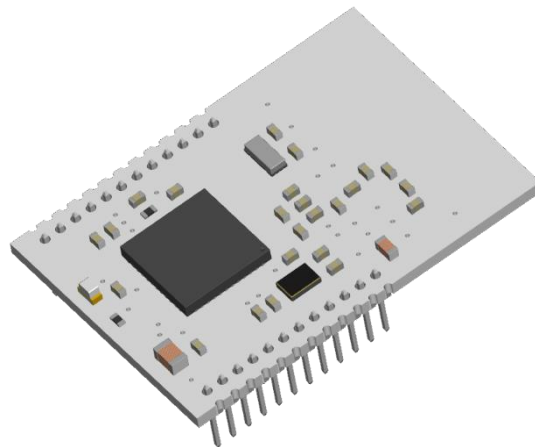
Cortex-A9
1 × 1 ГГц
-40 ... +85 °C

Unwired Devices

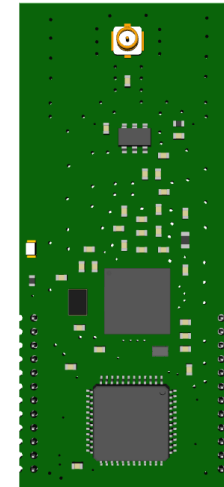
- Встраиваемые компьютеры с Wi-Fi и модули беспроводных сетей



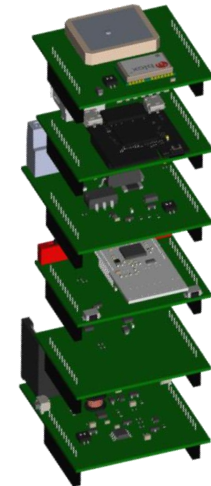
400 МГц MIPS 24Kc
Linux, Wi-Fi
25 × 35 мм



Модуль 6LoWPAN
868 МГц, 2450 МГц
ARM Cortex-M3



Модуль LoRa
868 МГц
ARM Cortex-M0
ARM Cortex-M4F



Набор быстрого
прототипирования

Сетевые технологии Интернета Вещей

Технологии связи в IoT

Для
потребительских
устройств

Wi-Fi
Bluetooth

*Высокая скорость
Невысокая дальность
Топологии «звезда» или
«точка-точка»*

Ближнего
радиуса
(< 1 км)

Z-Wave
ZigBee
6LoWPAN
Thread

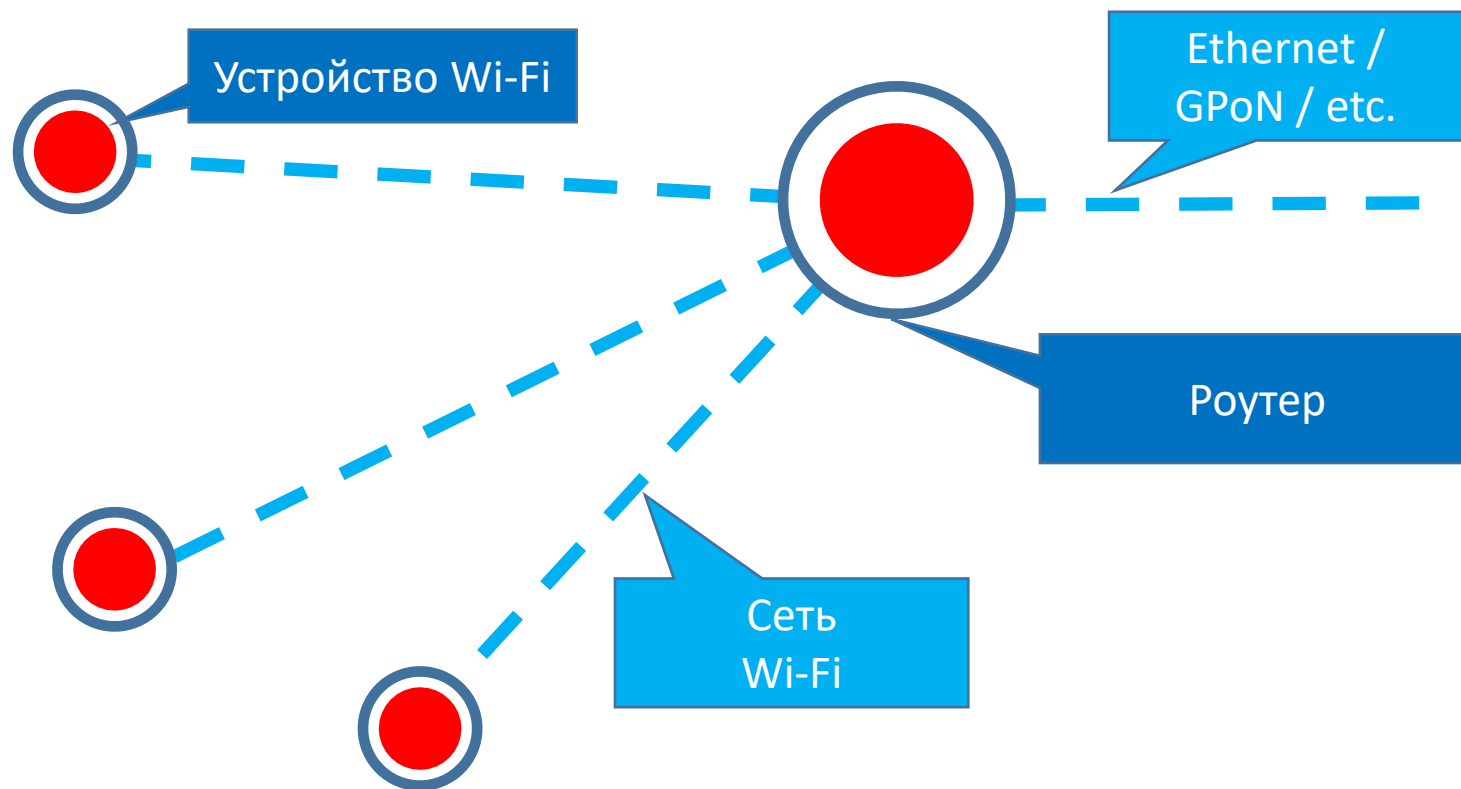
*Низкое энергопотребление
Топология «ячеистая сеть»*

Дальнего
радиуса
(1-50 км)

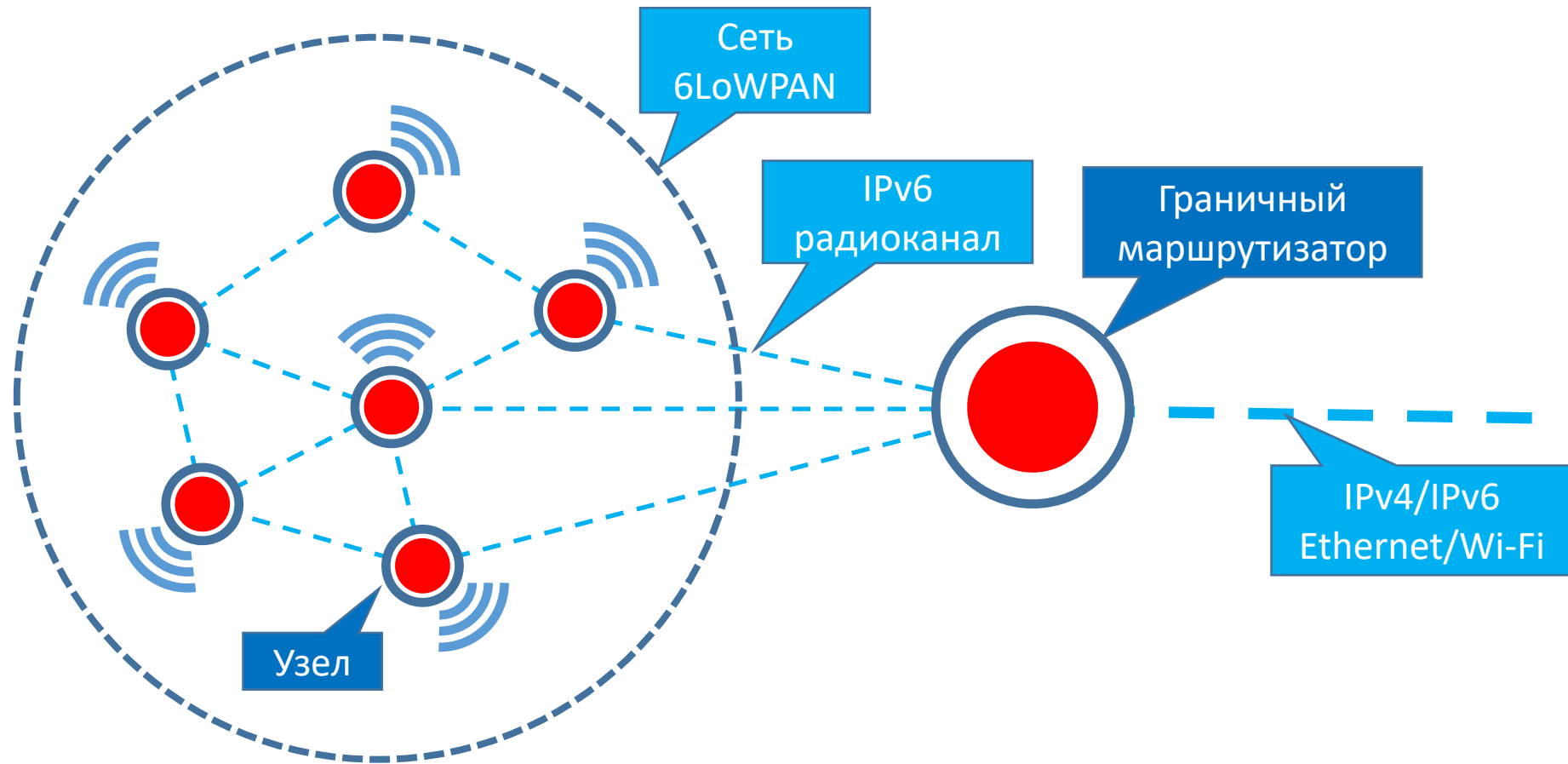
Sigfox
Стриж
LoRa
NB-IoT

*Низкое энергопотребление
Очень высокая дальность
Топология «звезда»*

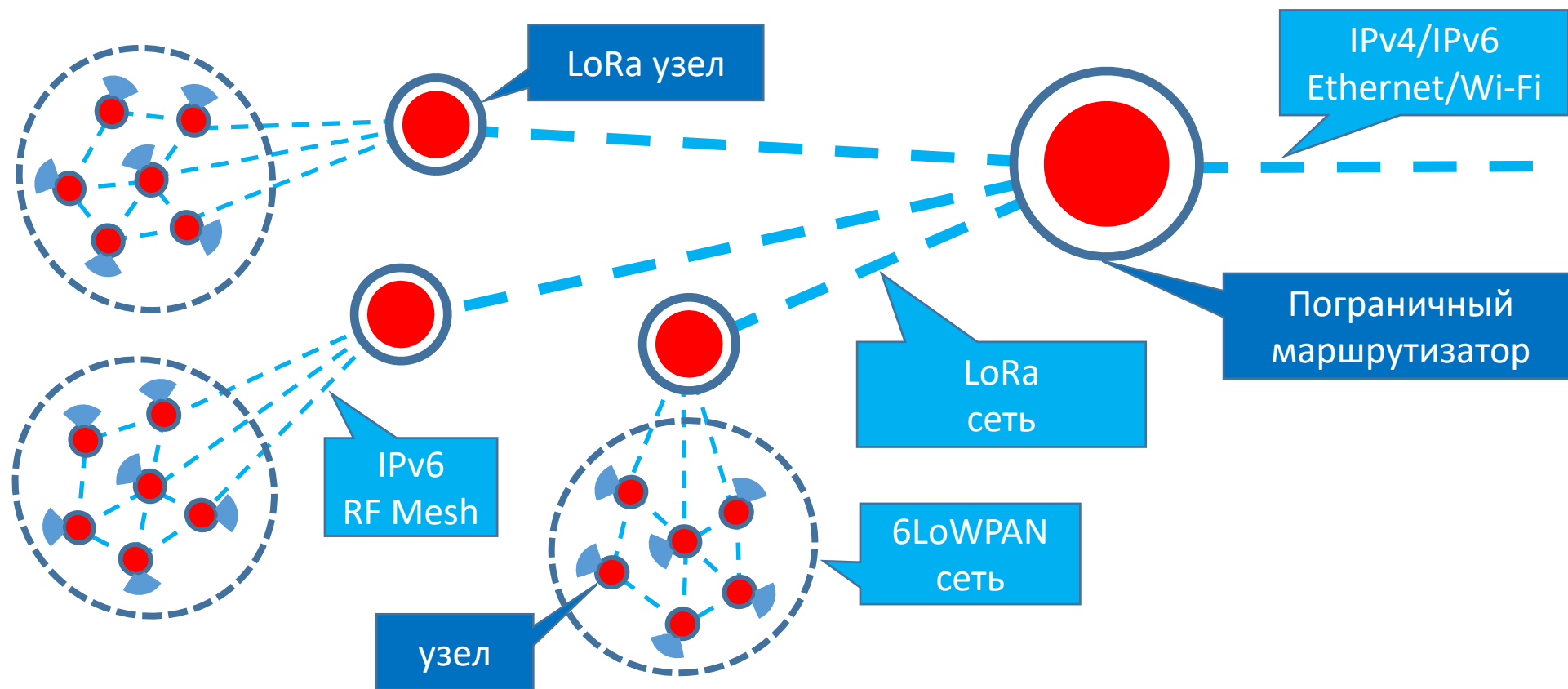
Сети «звезда»



Ячеистые сети



Гетерогенные сети



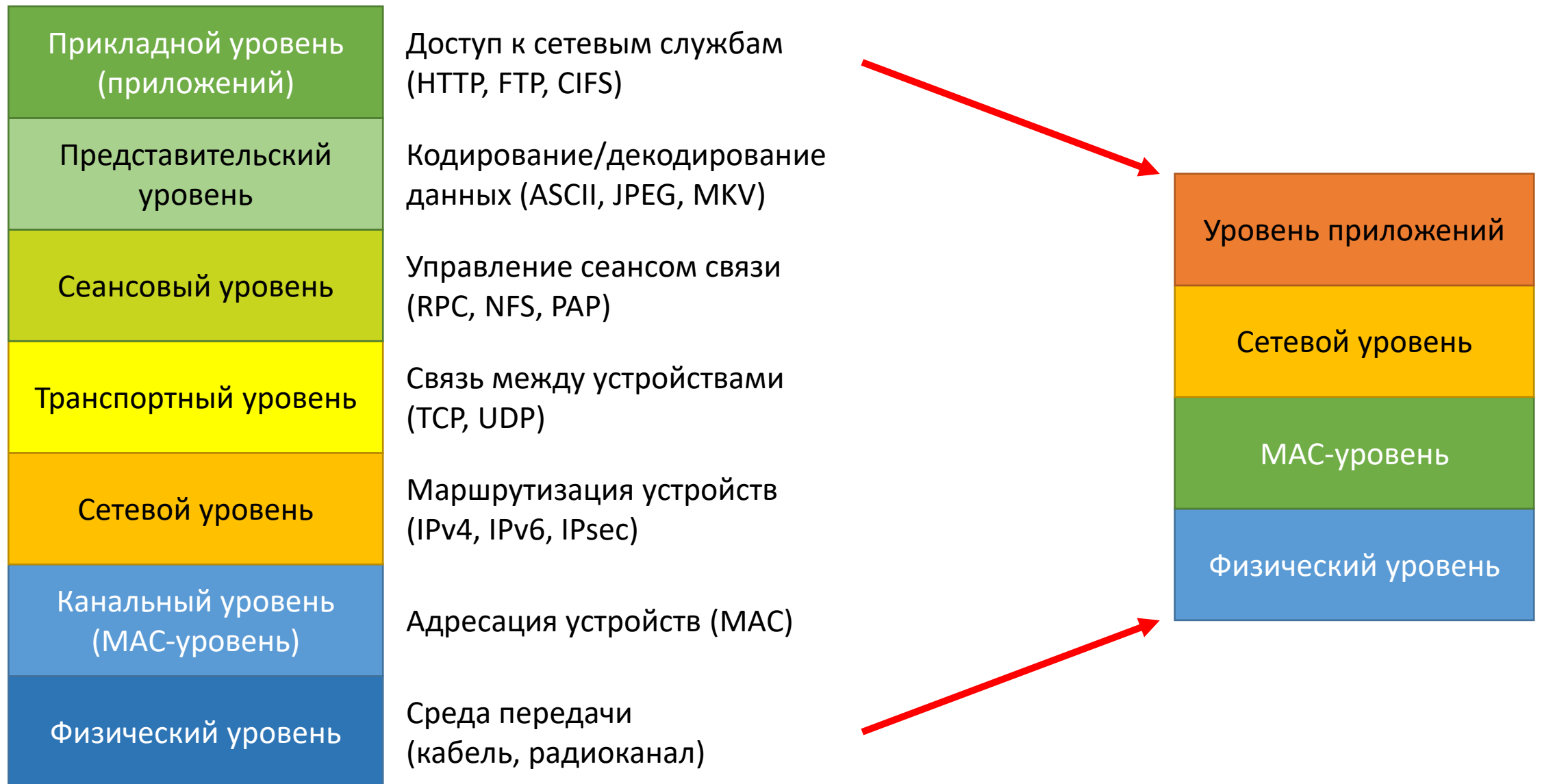
Wi-Fi

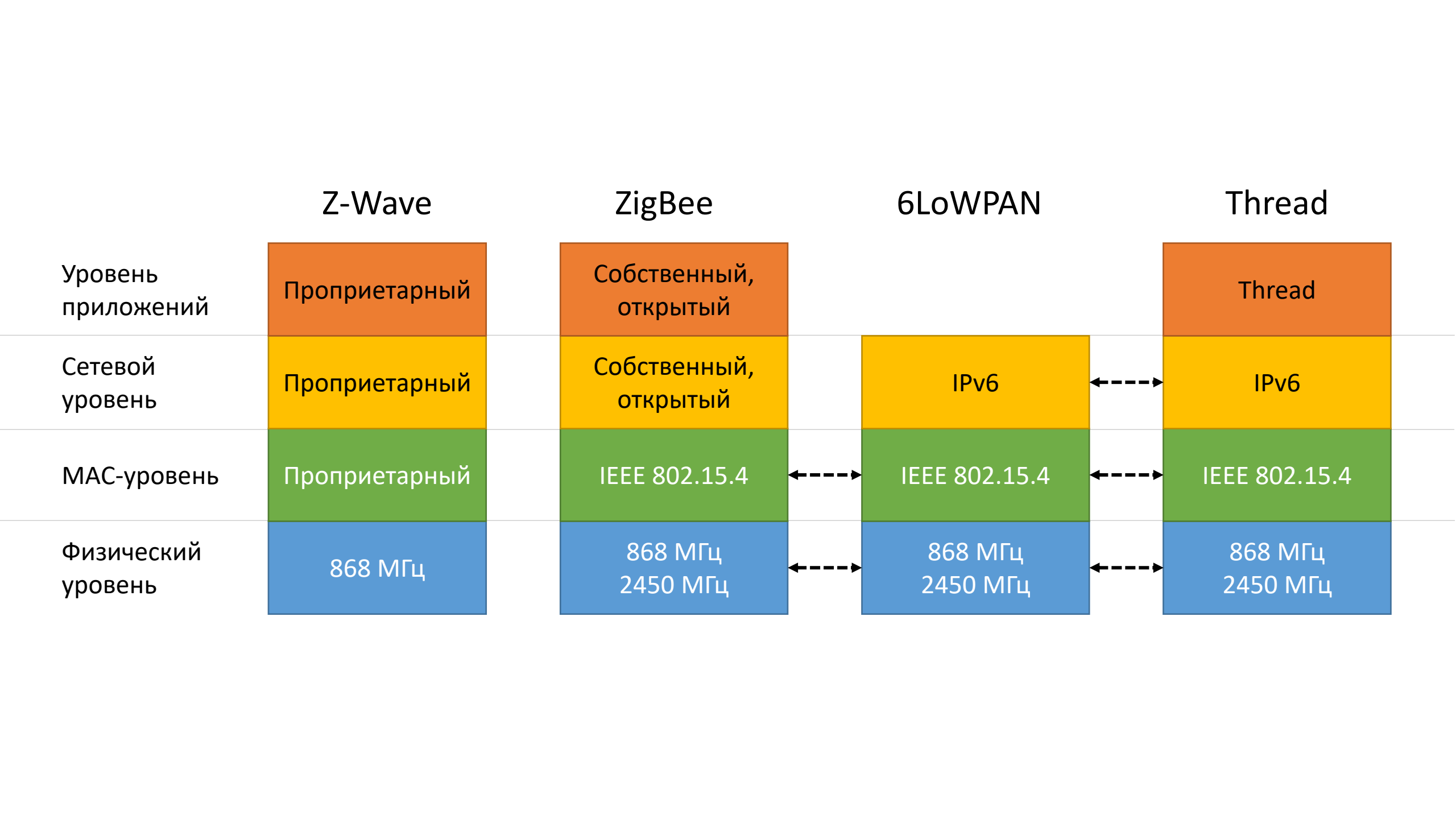
- Разрабатывался для мультимедиа-данных
- Очень высокая скорость
- Низкая дальность
- Очень высокое энергопотребление
- Небольшое количество клиентов на одном роутере
- Диапазон 2450 МГц и выше
- Топология «звезда»
- Попытки пристроить в IoT: ESP8266, QCA 4002 и другие решения класса «Wi-Fi на батарейках», ячеистые сети

Bluetooth

- Разрабатывался для аудиоданных
- Высокая скорость
- Низкая дальность
- Компромисс между скоростью, дальностью и энергопотреблением (Bluetooth Low Energy)
- Только 2450 МГц
- Топология «точка-точка»
- Максимум 7 устройств

Сетевая модель OSI





Z-Wave

ZigBee

6LoWPAN

Thread

Уровень приложений

Проприетарный

Собственный, открытый

Thread

Сетевой уровень

Проприетарный

Собственный, открытый

IPv6

IPv6

MAC-уровень

Проприетарный

IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4

Физический уровень

868 МГц

868 МГц
2450 МГц

868 МГц
2450 МГц

868 МГц
2450 МГц

Z-Wave

APP	Проприетарный
NET	Проприетарный
MAC	Проприетарный
PHY	868 МГц

- Все уровни **закрты**
- Требуется **лицензия**
- 100-% **совместимость**

- SoC на базе **Intel 8051**
- Только **868 МГц**
- Максимум **4 хопа**
- Маршрутизация **source routing**

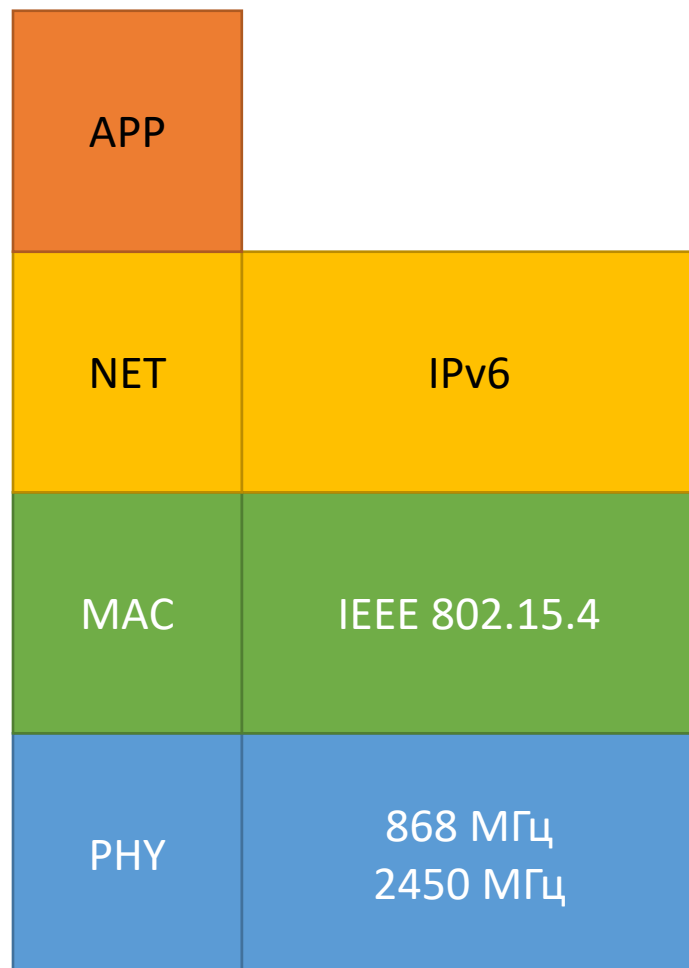
ZigBee

APP	Открытый
NET	Открытый
MAC	IEEE 802.15.4
PHY	868 МГц 2450 МГц

- Все уровни **открыты**
- Лицензия **не требуется**
- Приложения — **частичная совместимость**

- Любые SoC, **включая Cortex-M**
- Диапазоны **868 МГц и 2450 МГц**
- Глубина сети — **до 30 хопов**

6LoWPAN



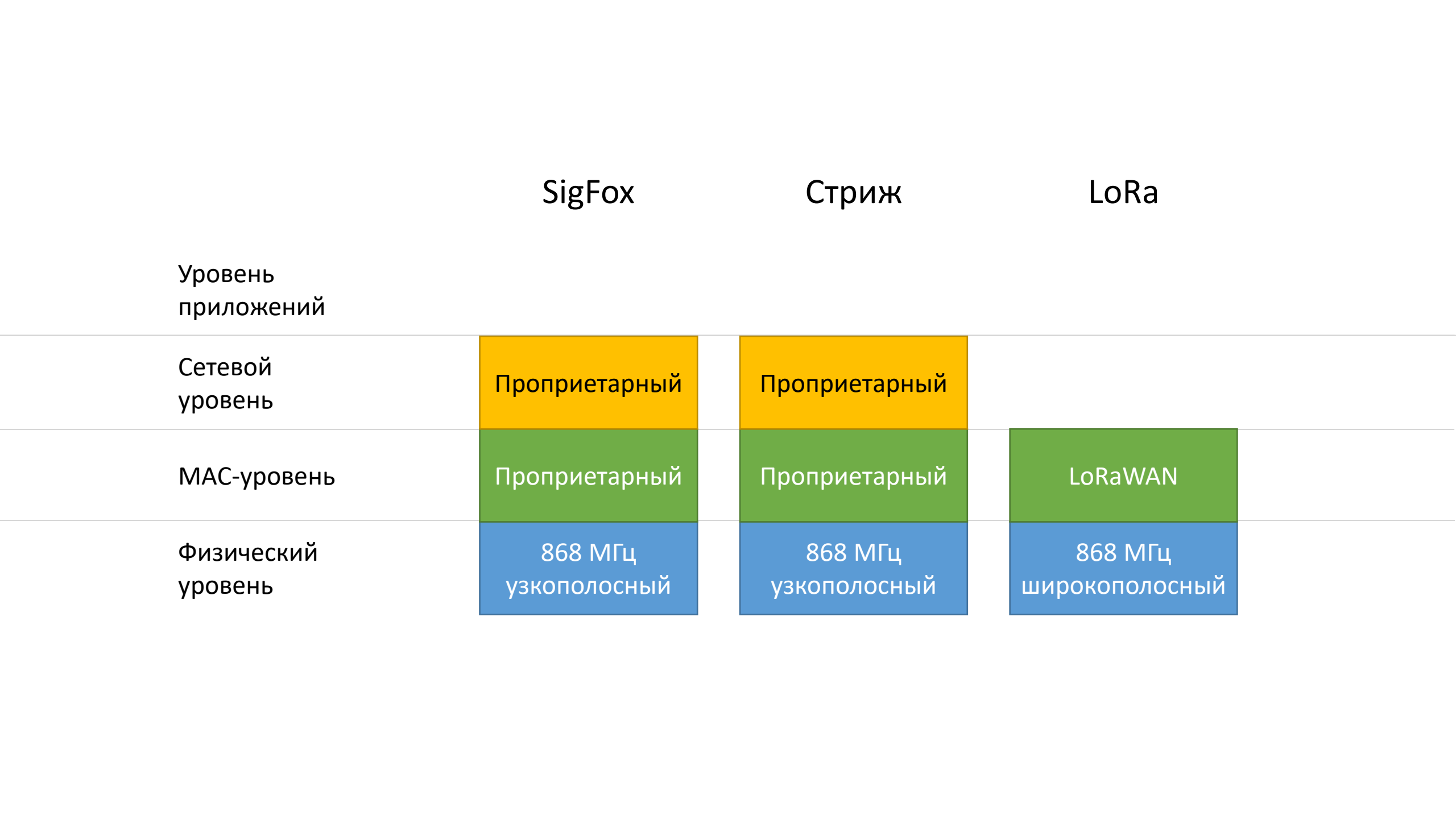
- Все уровни **открыты**
- Лицензия **не требуется**
- Приложения — **не стандартизированы**
- **MAC-адреса, IP-адреса, сокеты**
- Стыковка с **обычными IP-сетями**

- Любые SoC, **включая Cortex-M**
- Диапазоны **868 МГц и 2450 МГц**
- Глубина сети — **более 200 хопов**

Thread

APP	Проприетарный
NET	IPv6
MAC	IEEE 802.15.4
PHY	868 МГц 2450 МГц

- Уровень приложений поверх 6LoWPAN
- Практически нулевая поддержка в индустрии



SigFox

Стриж

LoRa

Уровень приложений

Сетевой уровень

MAC-уровень

Физический уровень

Проприетарный

Проприетарный

Проприетарный

Проприетарный

LoRaWAN

868 МГц узкополосный

868 МГц узкополосный

868 МГц широкополосный

Sigfox, Стриж

- Использование узкополосного сигнала
- Приём сигнала ниже уровня шума
- Проприетарные протоколы
- Скорость 100 бит/с
- Модель бизнеса — плата за подписку
- Возможна реализация на различных чипах (например, «Стриж» — Semtech SX1276 в первом поколении, AXSEM в текущем), но требуется проприетарная прошивка

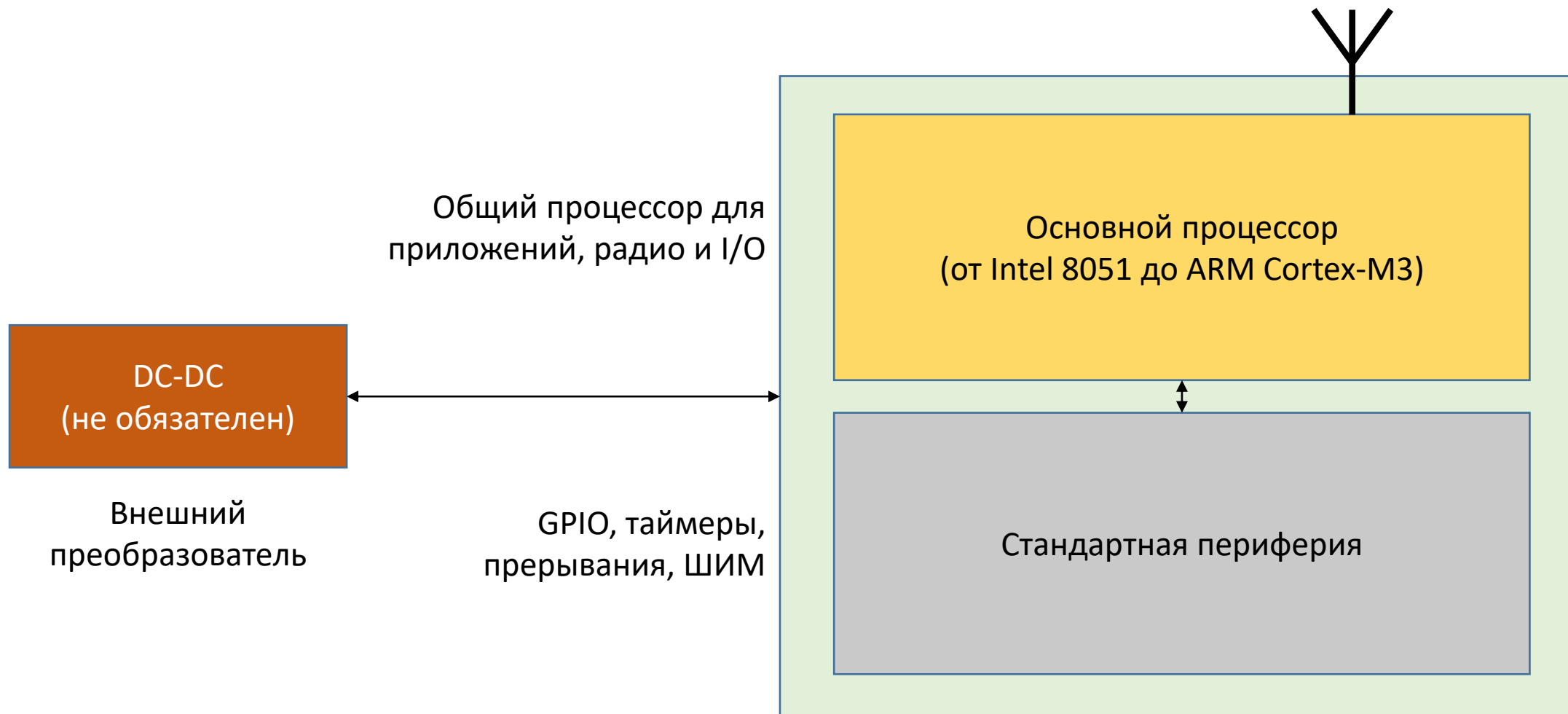
LoRa

- Использование широкополосного сигнала
- Приём сигнала ниже уровня шума
- **Проприетарный физический уровень**
- **Скорость до 37,5 кбит/с**
- **Открытый MAC-уровень**
- Модель бизнеса — **продажа чипов**

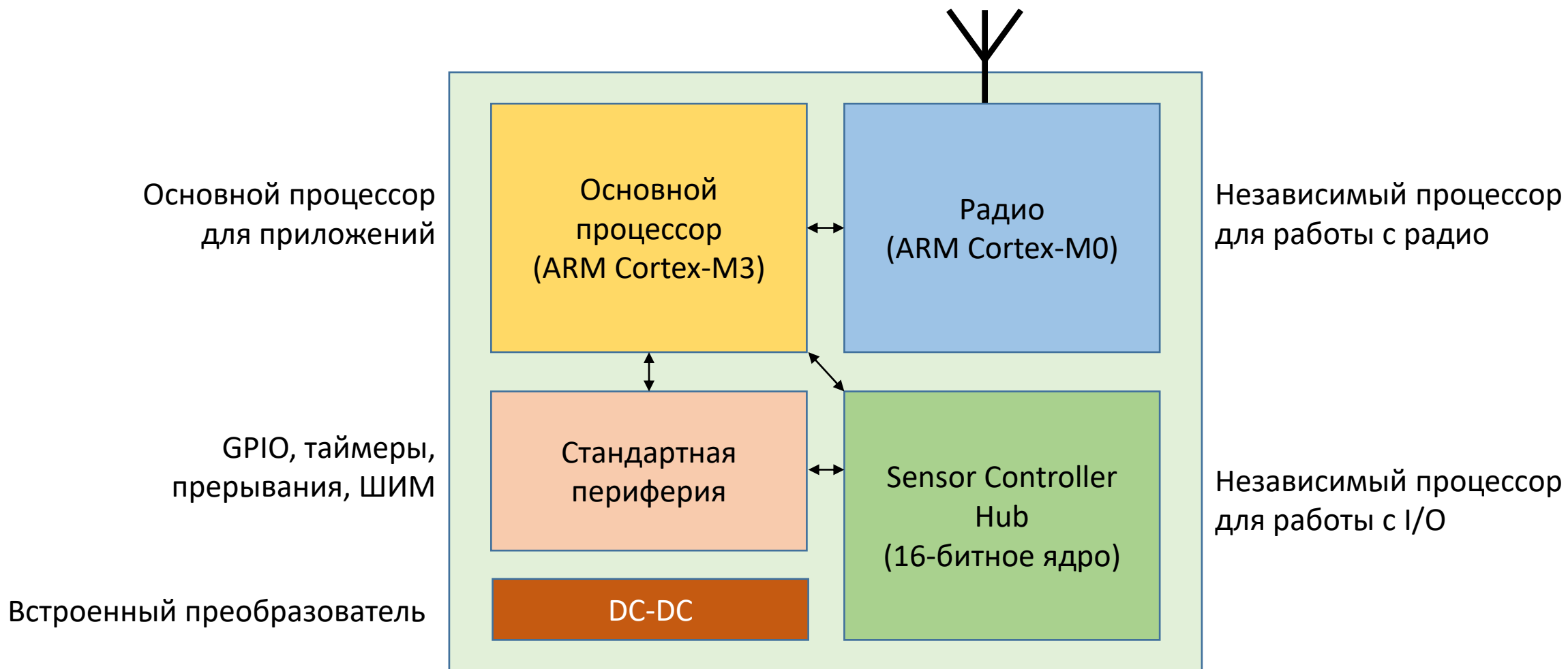
- **Только чипы Semtech** (SX1276, SX1272, SX1301 в базовых станциях)
- Исходные коды LoRaWAN (MAC-уровень) **в открытом доступе**

Аппаратные платформы Интернета Вещей

6LoWPAN: стандартные решения



6LoWPAN: TI CC13xx и CC26xx



6LoWPAN: TI CC13xx и CC26xx

	Протокол	Диапазон	Ядро	ОЗУ	Флэш
CC1310	ZigBee 6LoWPAN	868 МГц	Cortex-M3	20+8 КБ	128 КБ
CC1350	ZigBee 6LoWPAN BLE	868 МГц 2450 МГц	Cortex-M3	20+8 КБ	128 КБ
CC2630	ZigBee 6LoWPAN	2450 МГц	Cortex-M3	20+8 КБ	128 КБ
CC2640	BLE	2450 МГц	Cortex-M3	20+8 КБ	128 КБ
CC2650	ZigBee 6LoWPAN BLE	2450 МГц	Cortex-M3	20+8 КБ	128 КБ

6LoWPAN: TI CC13xx и CC26xx

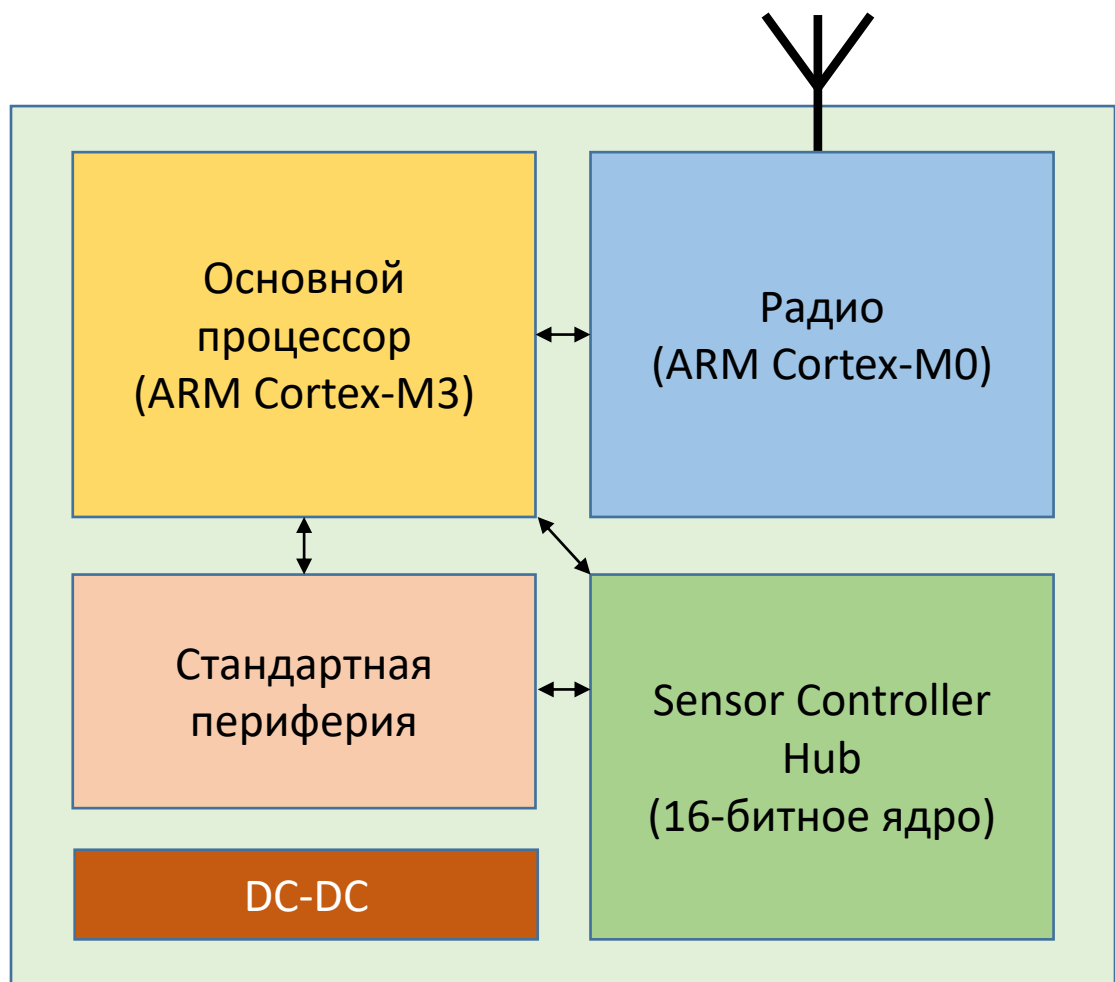
PRO

- Высокая степень интеграции
- Очень низкое энергопотребление
- Три варианта корпусировки (4×4 мм, 5×5 мм, 7×7 мм)
- Стабильная мощность RF при любом напряжении питания

CONS

- 128 кбайт флэш-памяти
- 28 кбайт ОЗУ
- Плохая поддержка в сторонних ОС (Contiki, RIOT)

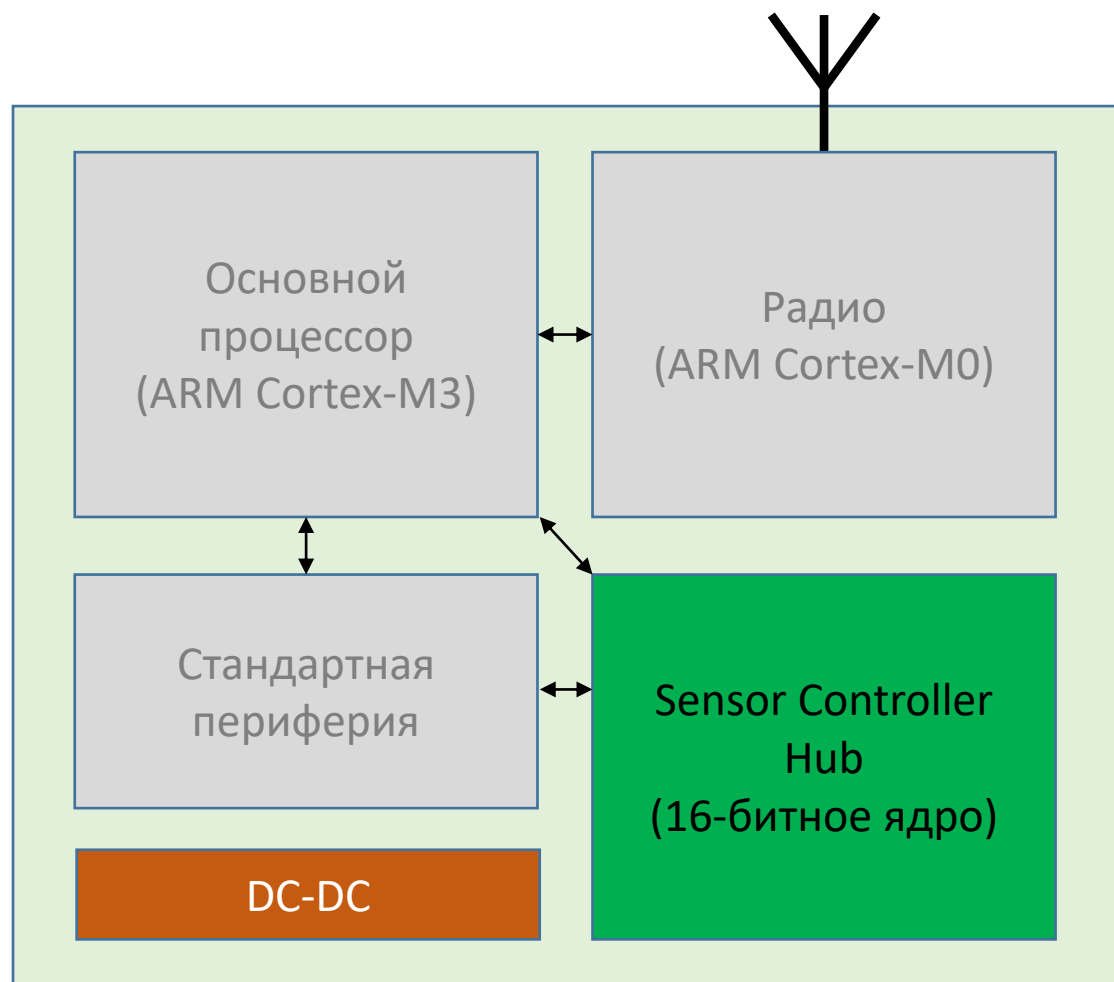
6LoWPAN: TI CC13xx и CC26xx



Обычный сценарий

- Все бодрствуют!
- Потребление 2,5 мА

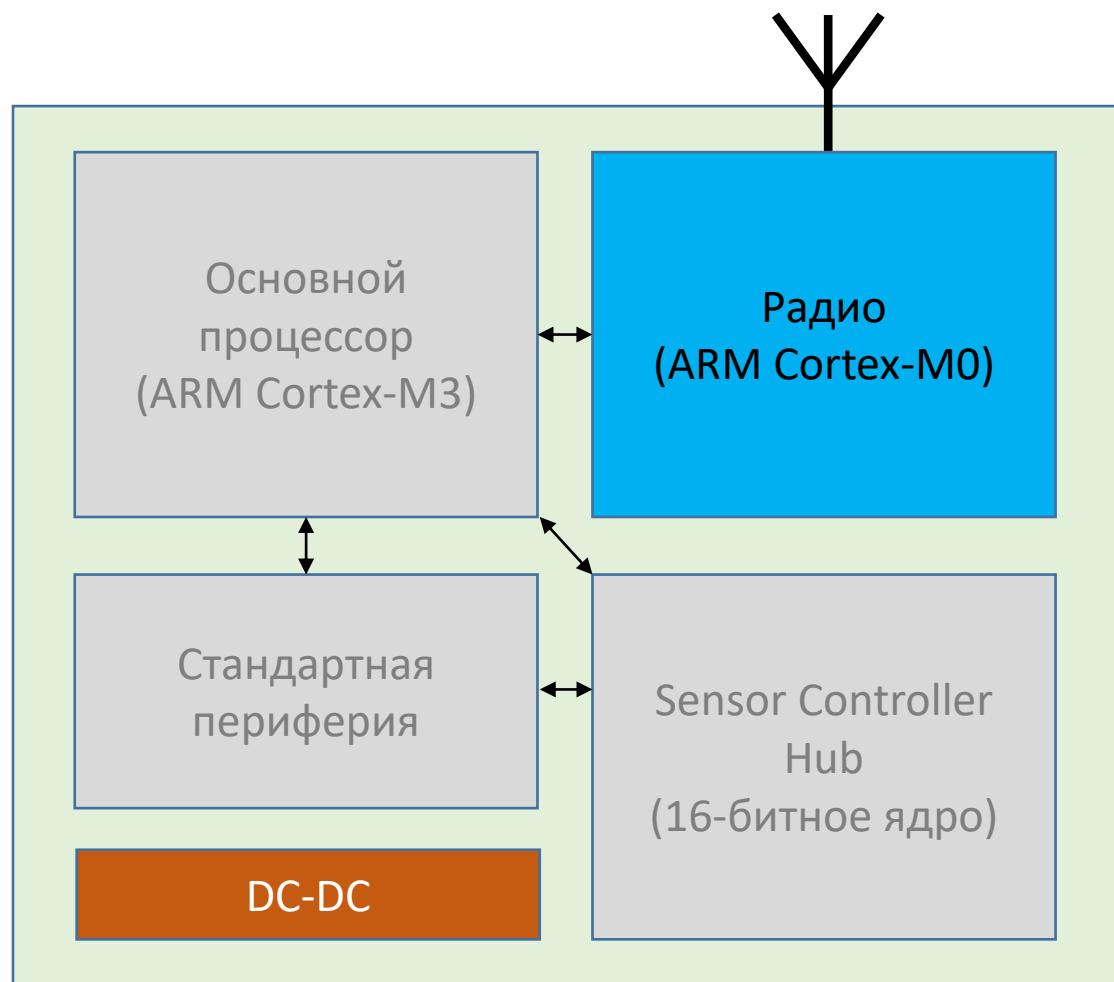
6LoWPAN: TI CC13xx и CC26xx



Устройство сбора данных

- **Обработка внешних сигналов, включая АЦП, UART, etc.**
- **Потребление < 10 мкА**
- **Только конечные устройства радиосети**

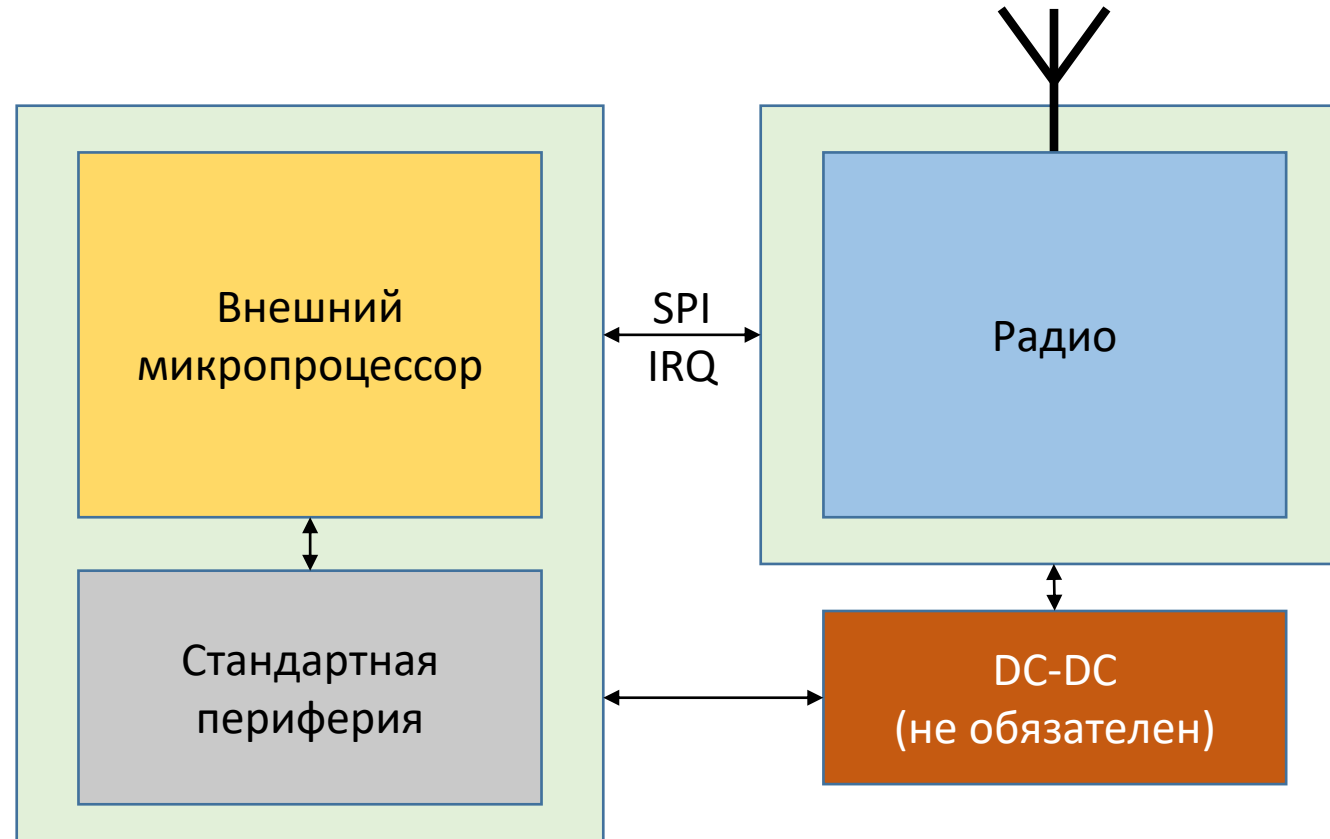
6LoWPAN: TI CC13xx и CC26xx



Спящий роутер

- Постоянная готовность к приёму и передаче
- Потребление 550 мкА

LoRa: Semtech SX127x





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, seti.sut.ru

E-mail: kirichek@sut.ru