

Стандарты беспроводной связи. Введение в ZigBee/802.15.4

Беспроводные решения стандарта
ZigBee/802.15.4 фирмы Freescale Semiconductor

1 декабря 2004

Freescale™ and the Freescale logo are trademarks of Freescale Semiconductor, Inc.
All other product or service names are the property of their respective owners. © Freescale Semiconductor, Inc. 2004



Стандарты беспроводной связи. Введение в ZigBee

- 👉 Обзор стандартов беспроводной связи
 - 👉 Общая характеристика и использование стандартов беспроводной локальной связи
 - 👉 WLAN
 - 👉 Bluetooth
 - 👉 UWB
 - 👉 ZigBee/IEEE 802.15.4

- 👉 Введение в стандарт ZigBee/IEEE 802.15.4
 - 👉 Новая технология для новых рынков
 - 👉 Обзор стандарта IEEE 802.15.4
 - 👉 Обзор стандарта ZigBee

- 👉 Сравнительный анализ и совместная работа беспроводных сетей разных стандартов



Обзор стандартов беспроводной связи



Что такое “Стандарт”?

Откуда берутся стандарты?

- Технология или решение + широкое внедрение на рынке = «стандарт»
- Для принятия стандарта необходима некоторая критическая масса

Кто разрабатывает стандарты?

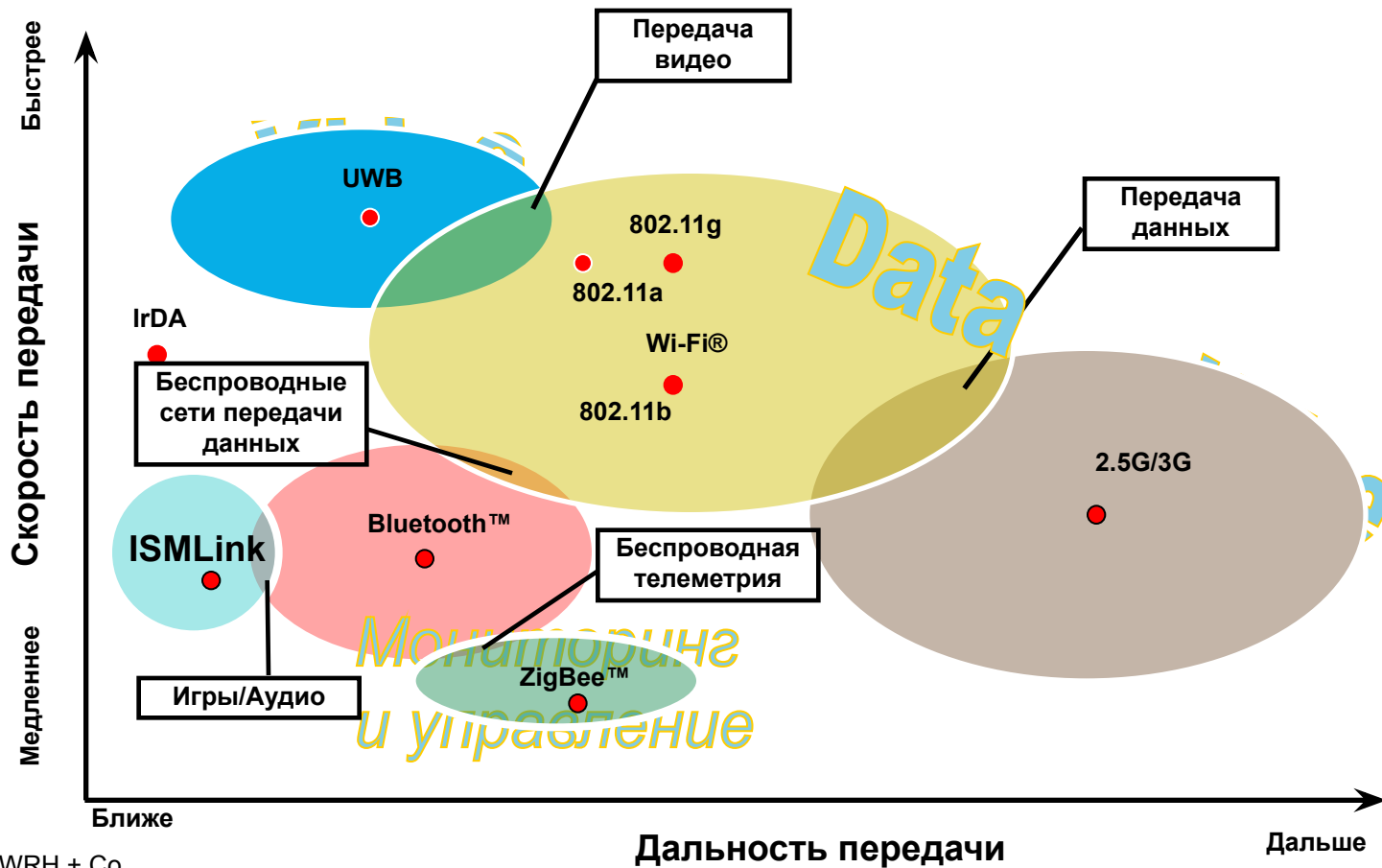
- Любой, кто обладает достаточными ресурсами (время, финансы, власть, авторитет), например:
 - ✓ ГОСТ-Р
 - ✓ International of Electronic and Electrical Engineers (IEEE)
 - ✓ Society of Automotive Engineers (SAE)
 - ✓ Qualcomm (CDMA), Motorola (iDEN, TETRA, FLEX), Intel (PC architecture), Microsoft (OS), etc.

Чем хороши стандарты?

- С рыночной точки зрения:
 - ✓ Обеспечение интероперабельности как отдельных продуктов, так и систем
 - ✓ За счет конкурентной борьбы снижаются цены

✓ **Стандартное решение редко бывает самым оптимальным**

Обзор стандартов беспроводной связи



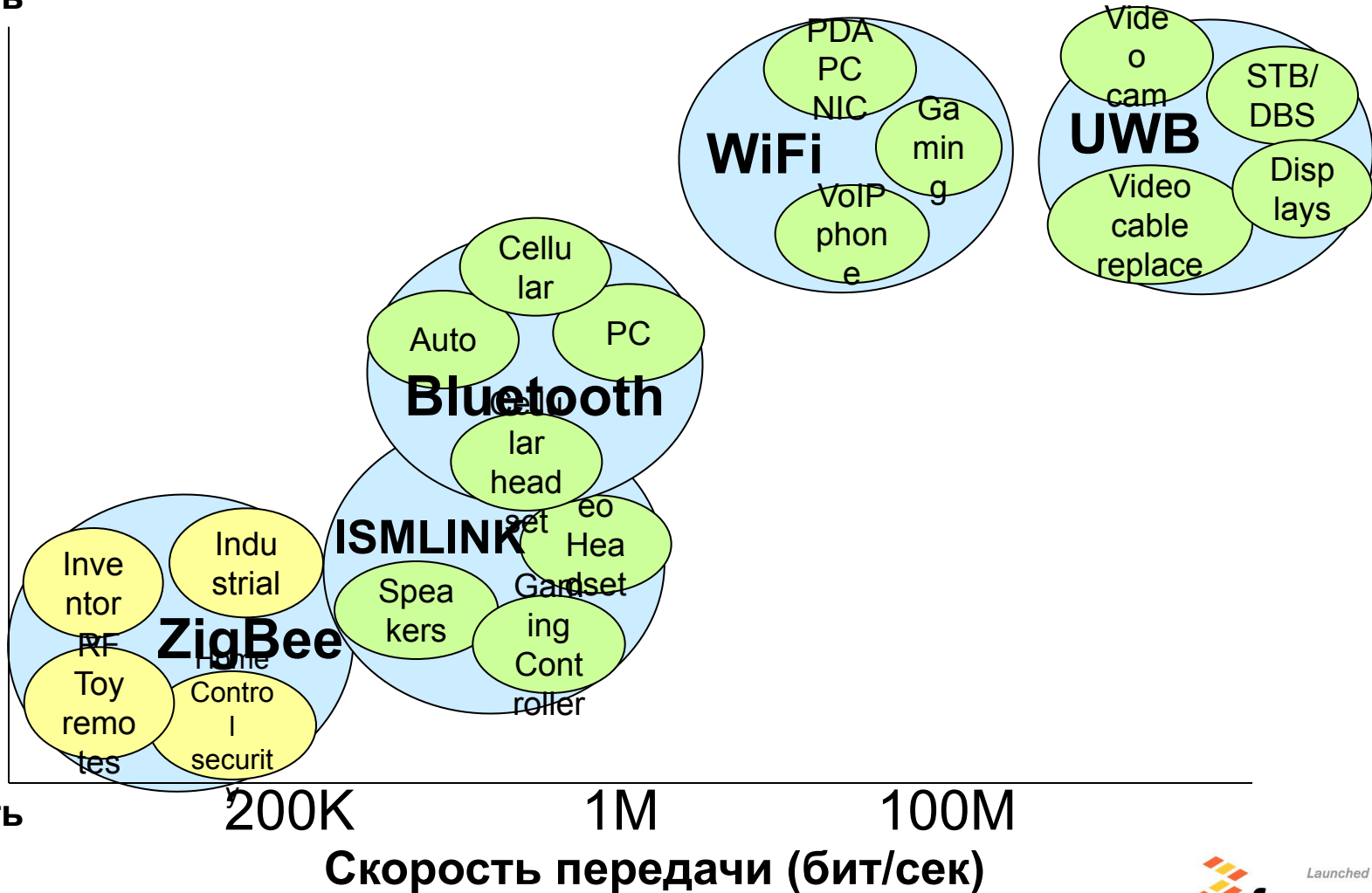
Sources: WRH + Co

Стоимость беспроводных решений

Высокая
СТОИМОСТЬ

Цена решения

Низкая
СТОИМОСТЬ



Стандарты серии 802.11 (WLAN, Wi-Fi)

Общая характеристика

- IEEE 802.11 – серия стандартов (IEEE 802.11a/b/g...)
- «Ethernet» (WLAN, Wi-Fi) без проводов
- Ориентирован на передачу данных в беспроводной сети
- Большая масса уже установленных устройств и поддержка крупных производителей (Intel, Cisco, etc)
- Стоимость 100 – 400 \$ USD

Требования приложений

- Низкая стоимость развертывания сети и простое подключение
- Широкополосный доступ для мобильных пользователей
- Совместимость с существующими сетями
- Обеспечение QoS
- Основные приложения

✓ Точки доступа к сетям общего пользования

✓ Передача голоса (VoIP)

✓ Передача данных и доступ в Интернет

Стандарты серии 802.11 (WLAN, Wi-Fi)

Технические детали

- Используемый частотный диапазон: 2,4 ГГц, 4.9 – 5.8 ГГц
- Типы модуляции: DSSS, FHSS. OFDM
- Скорость передачи данных: 1, 2, 4, 5.5, 11, 54 Мбит/с
- Дальность передачи: <100 м
- Энергопотребление: > 400 мА / 20 мА
- Большой размер стека протоколов (> 100 кБ)

Направления развития

- Разработка технологий широкополосного доступа для мобильных пользователей с поддержкой мультимедиа
- Совместимость с существующими сетями
- Поддержка протокола VoIP в беспроводных сетях
- Обеспечение QoS
- Основные приложения
 - ✓ Точки доступа к сетям общего пользования
 - ✓ Передача голоса (VoIP)
 - ✓ Передача данных и доступ в Интернет

Рынок для технологий WLAN уже сложился

- ✓ Основной спрос на рынке формируют ПК и точки доступа
- ✓ Острая конкуренция на рынке ведет к снижению цен
- ✓ Растущее число установленных точек доступа ведет к увеличению спроса на мобильные устройства с поддержкой технологий WLAN
- ✓ Новые стандарты (IEEE 802.11.n) поддерживают внедрение мультимедиа и увеличение пропускной способности сети
- ✓ Рыночный успех технологий WLAN способствует развитию других беспроводных решений (WPAN, WMAN)

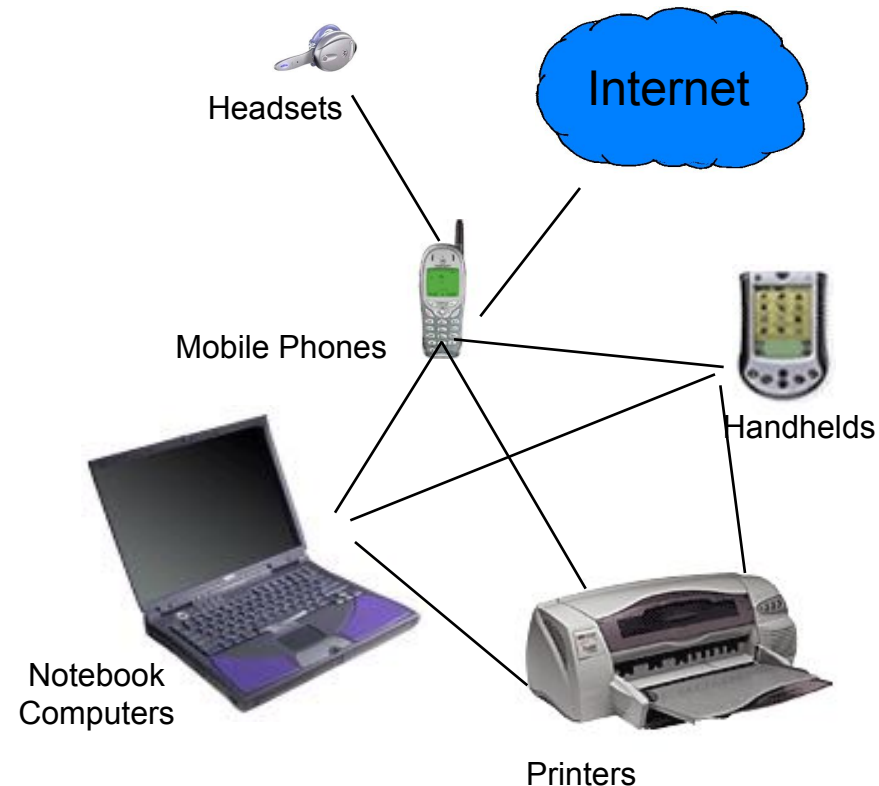
Стандарт 802.15.1/802.15.1a (Bluetooth)

Общая характеристика

- Обеспечение беспроводной связи в персональной сети
 - Передача речи (беспроводные гаритуры)
 - Передача данных (периферийные устройства, синхронизация с ПК)
- Использование в портативных устройствах
- Значительное присутствие на рынке
- Наибольшее распространение в приложениях, для которых изначально разрабатывался

Требования приложений

- Обеспечение надежного соединения для передачи аудио/данных
- Замена проводов в периферийных устройствах
- Низкое энергопотребление
- Малые размеры



Стандарт 802.15.1/802.15.1a (Bluetooth)

Технические детали

- Используемый частотный диапазон: 2,4 ГГц
- Типы модуляции: FHSS, ECC
- Скорость передачи данных: < 1 Мбит/с (~700 кБит/с в лучшем случае)
- Дальность передачи: <10 м
- Энергопотребление: > 40 мА / 200 мкА
- Большой размер стека протоколов (> 100 кБ)

Направления развития

- Спецификация 802.15.1a в разработке
- На данный момент нет четкой формулировки дальнейшего развития стандарта

Стандарт 802.15.3/ 802.15.3a

• 802.15.3

- Высокоскоростное беспроводное соединение в рамках персональной сети
- Ориентирован на поддержку мультимедиа-приложений в мобильных устройствах
- Скорость передачи: 11, 22, 33, 44 и 55 Мбит/с.
- Частотный диапазон 2.4 ГГц
- Поддержка **Quality of Service**
- Низкое энергопотребление
- Низкая стоимость

• 802.15.3a

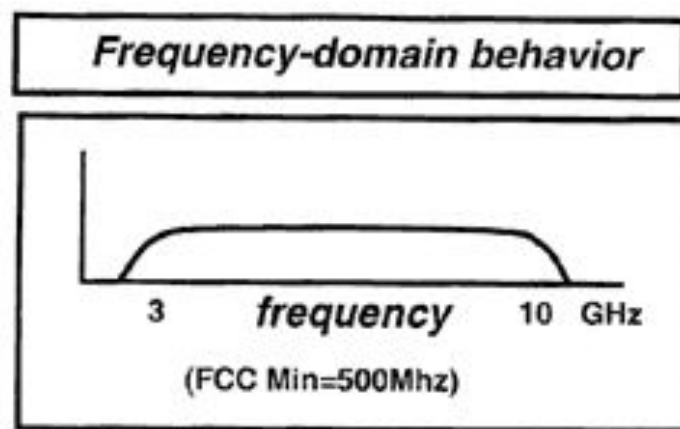
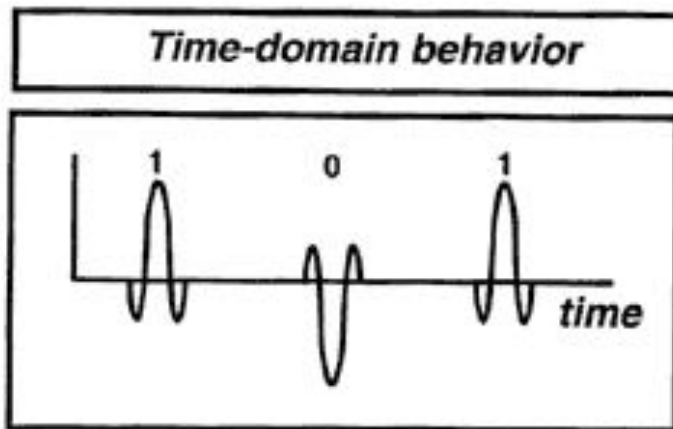
- Отличия в физическом уровне от for 802.15.3
- Увеличенная скорость передачи: 114 and 220 Мбит/с
- Используется технология UWB
- Стандарт на стадии разработки

Технология Ultra Wide Band (UWB)

US Federal Communications Commission's (FCC) разрешила использование диапазона 3.1 – 10.6 ГГц

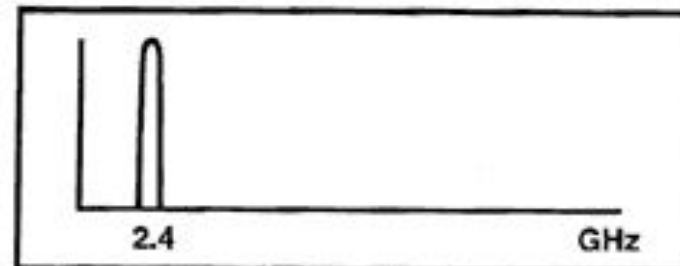
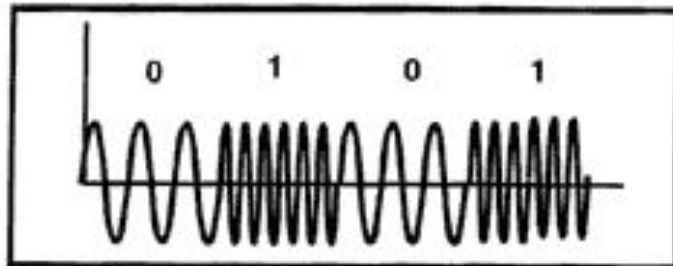
Ultra Wideband
Communication

Impulse
Modulation



Narrowband
Communication

Frequency
Modulation



Технология Ultra Wide Band (UWB)

Общая характеристика

- Обмен потоками мультимедиа в реальном режиме времени
- Ориентирован на персональные сети (PAN), скорость заметно падает с увеличением дальности передачи
- Два альянса разработчиков устройств на базе технологии UWB: MBOA и DS-UWB (Интел и Freescale) – разные технические решения
- Уже анонсированы передатчики UWB

Технические детали

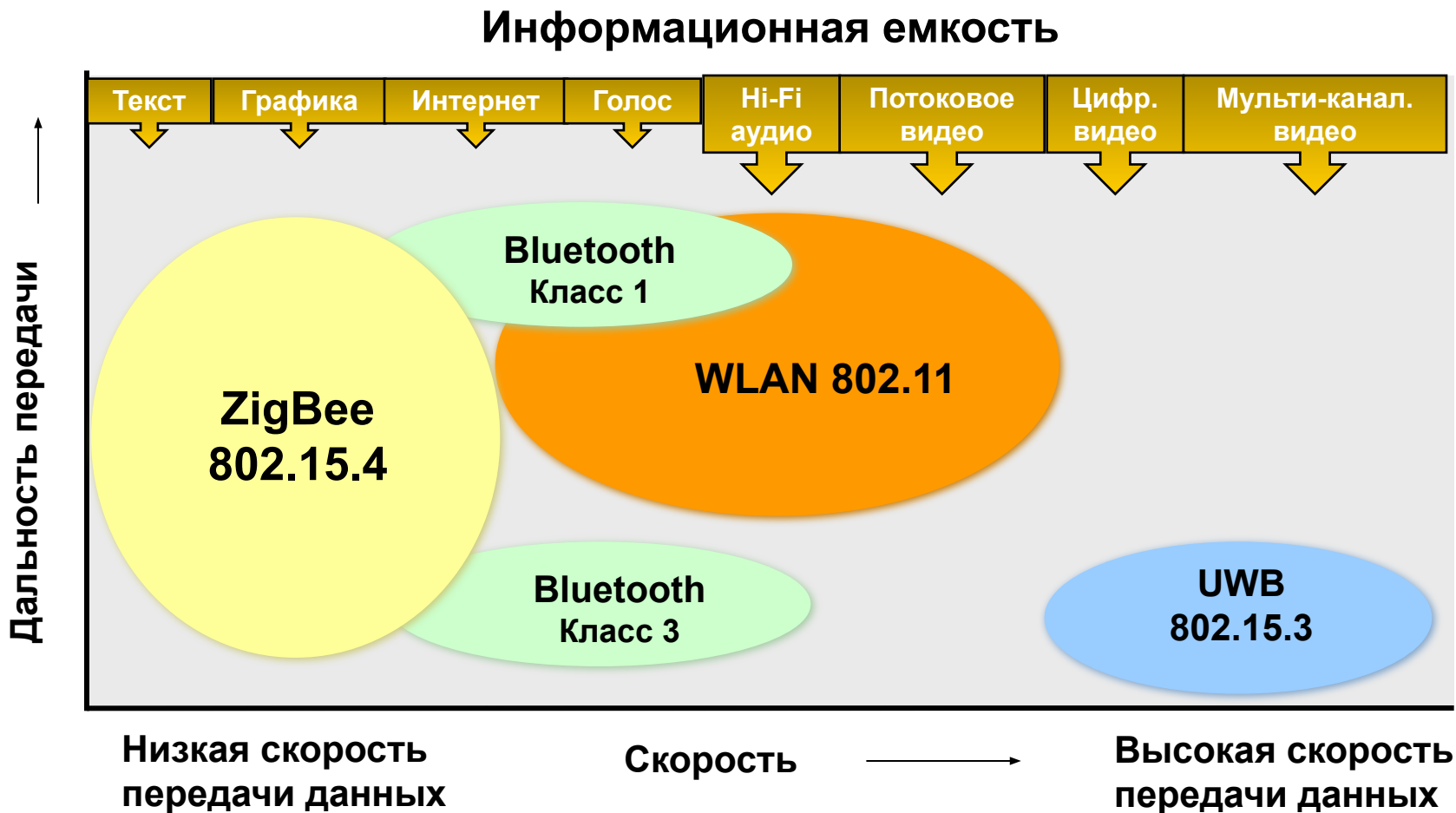
- Частотный диапазон: 3.1 – 10.6 ГГц
- Скорость передачи: 110, 480 Мбит/с (MBOA), 1 Гбит/с (DS-UWB)
- Дальность передачи: < 10 м (3 м)
- Тип модуляции: OFDM. QPSK
- Алгоритмы FFT - высокие требования к производительности МК (DSP)
- Энергопотребление на уровне Bluetooth



Введение в стандарт ZigBee™/ IEEE 802.15.4



Классификация основных беспроводных стандартов



Зачем нужен стандарт ZigBee?

ТОЛЬКО стандартное решение:

- Удовлетворяет специфическим требованиям приложений для дистанционного мониторинга и управления в сетях автоматики
- Делает возможным широкое внедрение дешевых беспроводных решений с низким энергопотреблением
- Обеспечивает функционирование устройств в типичных системах мониторинга на протяжении нескольких лет от обычной батарейки
- Гарантирует интероперабельность устройств разных производителей

Требования рынка недорогих беспроводных приложений (1)

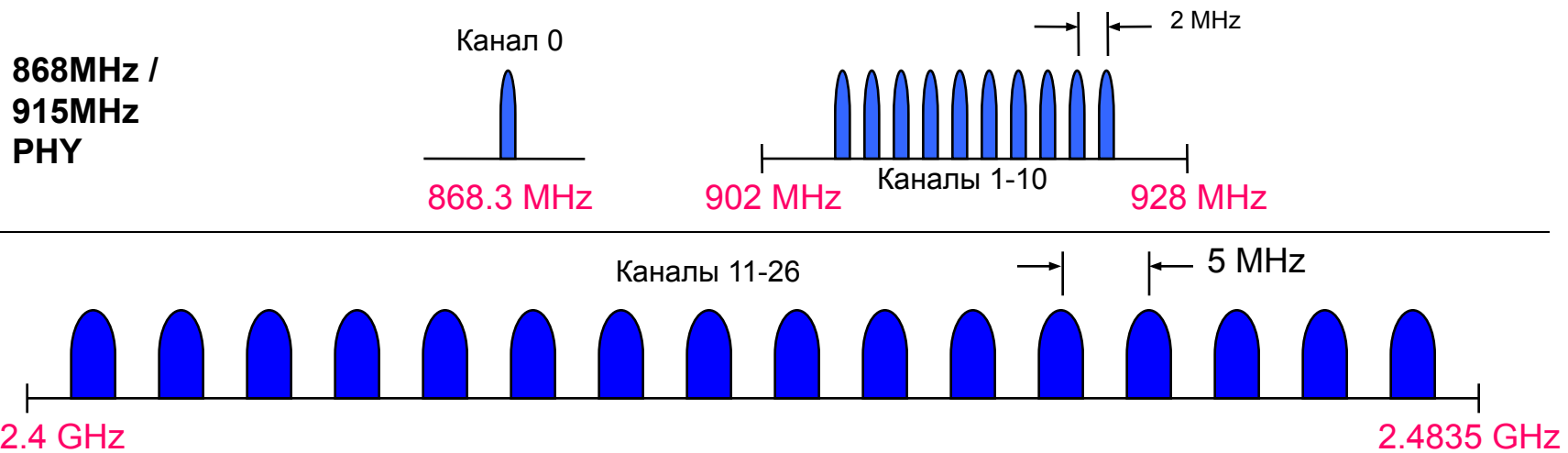
- **Глобальные частотные нелицензируемые диапазоны: 2.4 GHz, 915 MHz, 868 MHz**
- **Неограниченное географическое использование**
- **Проникновение RF сигнала через стены и потолки**
- **Быстрое развертывание сети и простая процедура добавления / удаления устройств**
- **Привлекательная цена**

Требования рынка недорогих беспроводных приложений (2)

- **Скорость передачи – 10к - 250 кбит/сек**
- **Радиус покрытия - 10-75м**
- **До 255 подчиненных устройств в сети**
- **До 100 параллельно работающих сетей**
- **До 2-х лет работы от стандартной алкалиновой батареи**

Частотные диапазоны и скорости передачи стандарта IEEE 802.15.4

<u>Диапазон</u>	<u>География использования</u>	<u>Скорость</u>	<u># Каналов</u>	<u>Модуляция</u>
2.4 GHz	Весь мир	250 kbps	16	O-QPSK
868 MHz	Европа	20 kbps	1	BPSK
915 MHz	Америка	40 kbps	10	BPSK



ZigBee ... Миф или реальность?

Новая технология для новых рынков

Freescale™ and the Freescale logo are trademarks of Freescale Semiconductor, Inc.
All other product or service names are the property of their respective owners. © Freescale Semiconductor, Inc. 2004



Рыночный потенциал и области применения ZigBee

Безопасность
ОВК

Считывание счетчиков
Управление освещением
Контроль доступа



TB & VCR
DVD/CD
Дистанционное
управление
Интерактивные игры

Диагностика
пациента
Оборудование
для фитнеса



ZigBee
*Беспроводное решение,
которое просто работает. .*



Мышь
Клавиатура
Джойстик

Управление
активами
Контроль
процессов
Оптимизация
энергопотребления



Безопасность
ОВК
Управление освещением
Контроль доступа
Освещение и полив
теплиц, газонов, садов

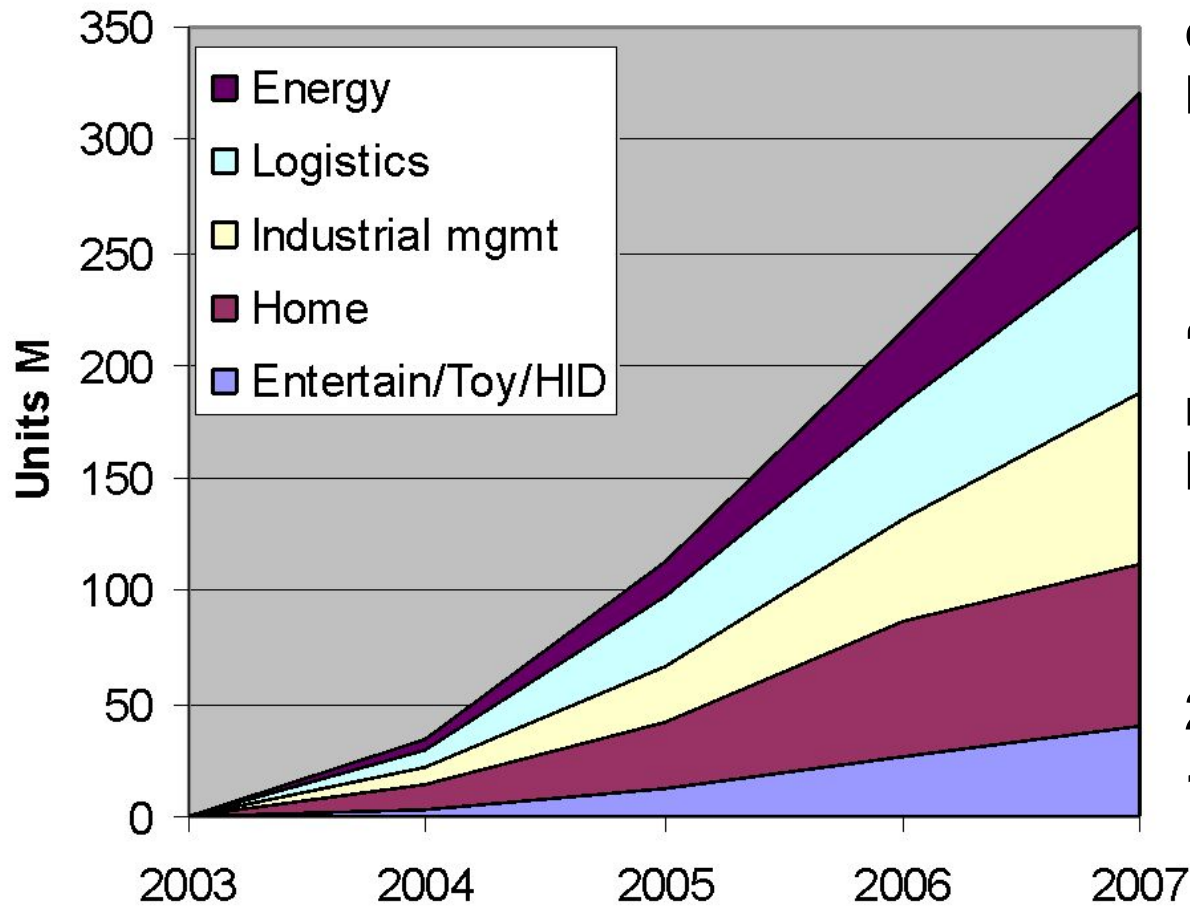
Промоутеры альянса ZigBee



Участники альянса ZigBee



Оценка рыночного потенциала ZigBee



“The market for ZigBee chips is expected to reach half a billion units by 2008”

Kirsten West, West Technology Research Solutions

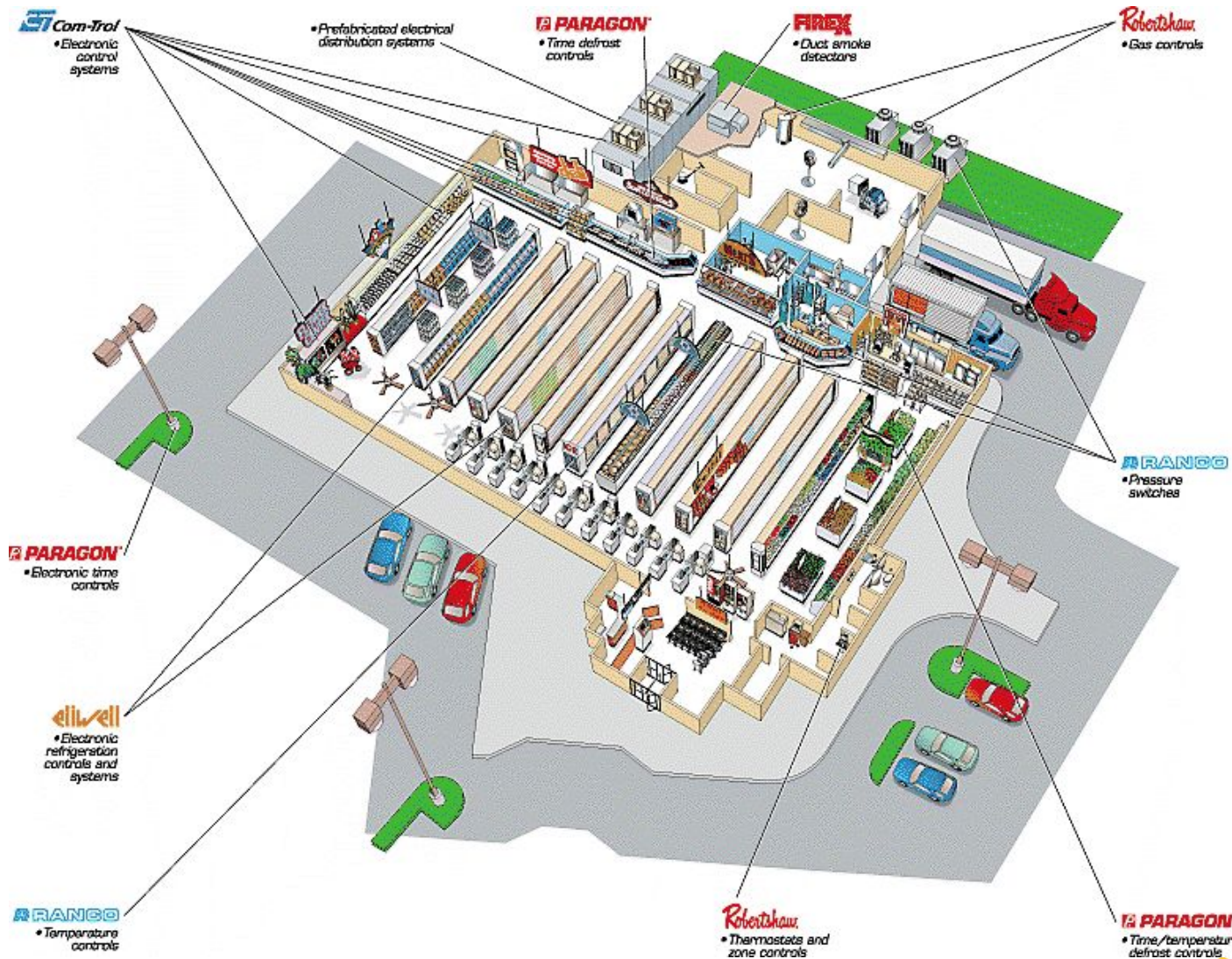
“... the ZigBee component market will reach \$1.7 billion by 2007”

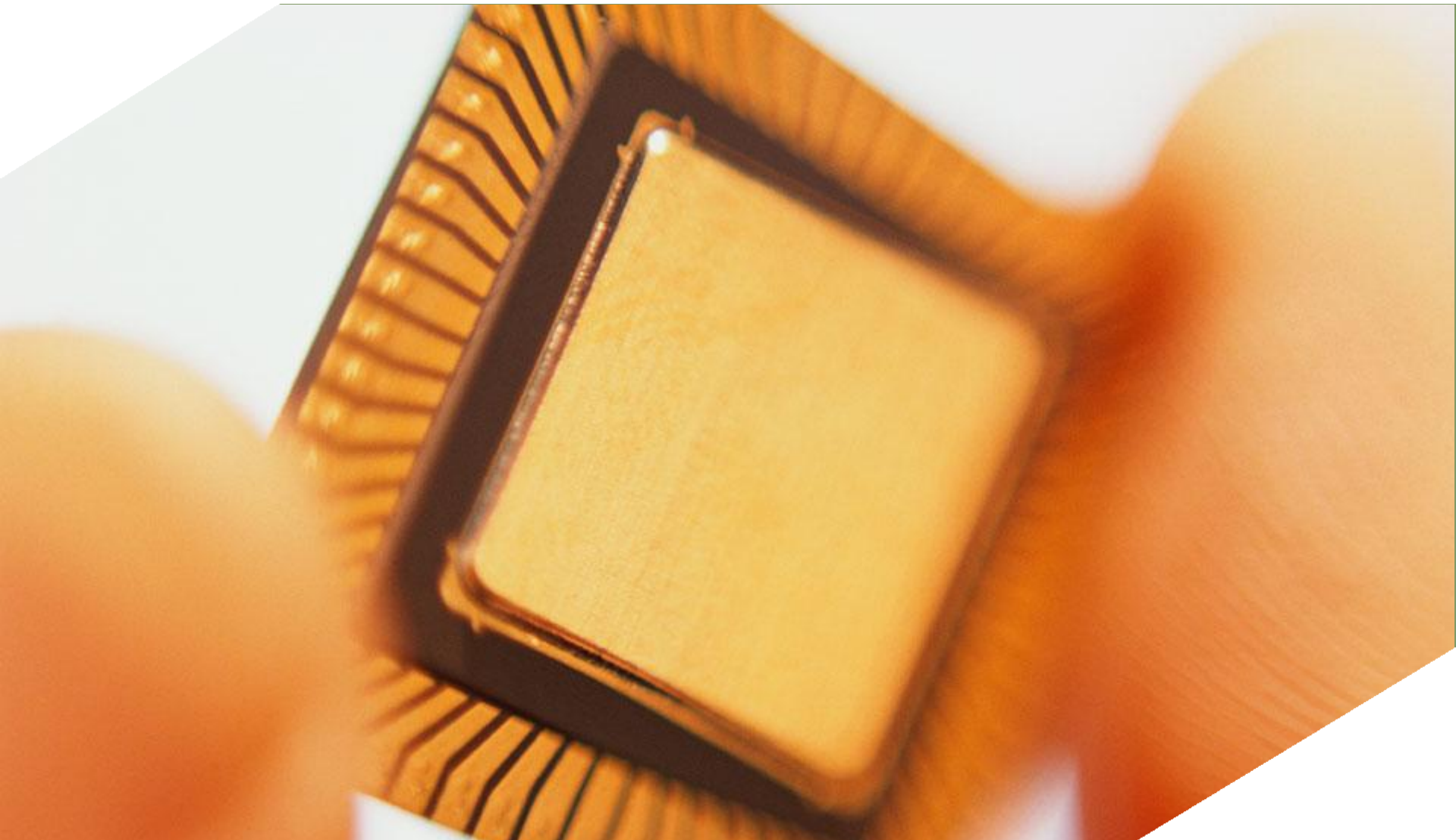
West Technology Research Solutions LLC

**2008 market forecast:
1649 M USD**

In-Stat MDR Nov 2003

Мир интероперабельных устройств – автоматизация здания супермаркета





Обзор стандартов ZigBee/ IEEE 802.15.4

Freescale™ and the Freescale logo are trademarks of Freescale Semiconductor, Inc.
All other product or service names are the property of their respective owners. © Freescale Semiconductor, Inc. 2004



Launched by Motorola

Использование 802.15.4 в стандарте ZigBee



Zigbee

ZigBee использует PHY и MAC-уровни, определенные в стандарте IEEE 802.15.4

ZigBee реализует функции канального, сетевого уровня и уровня поддержки приложений

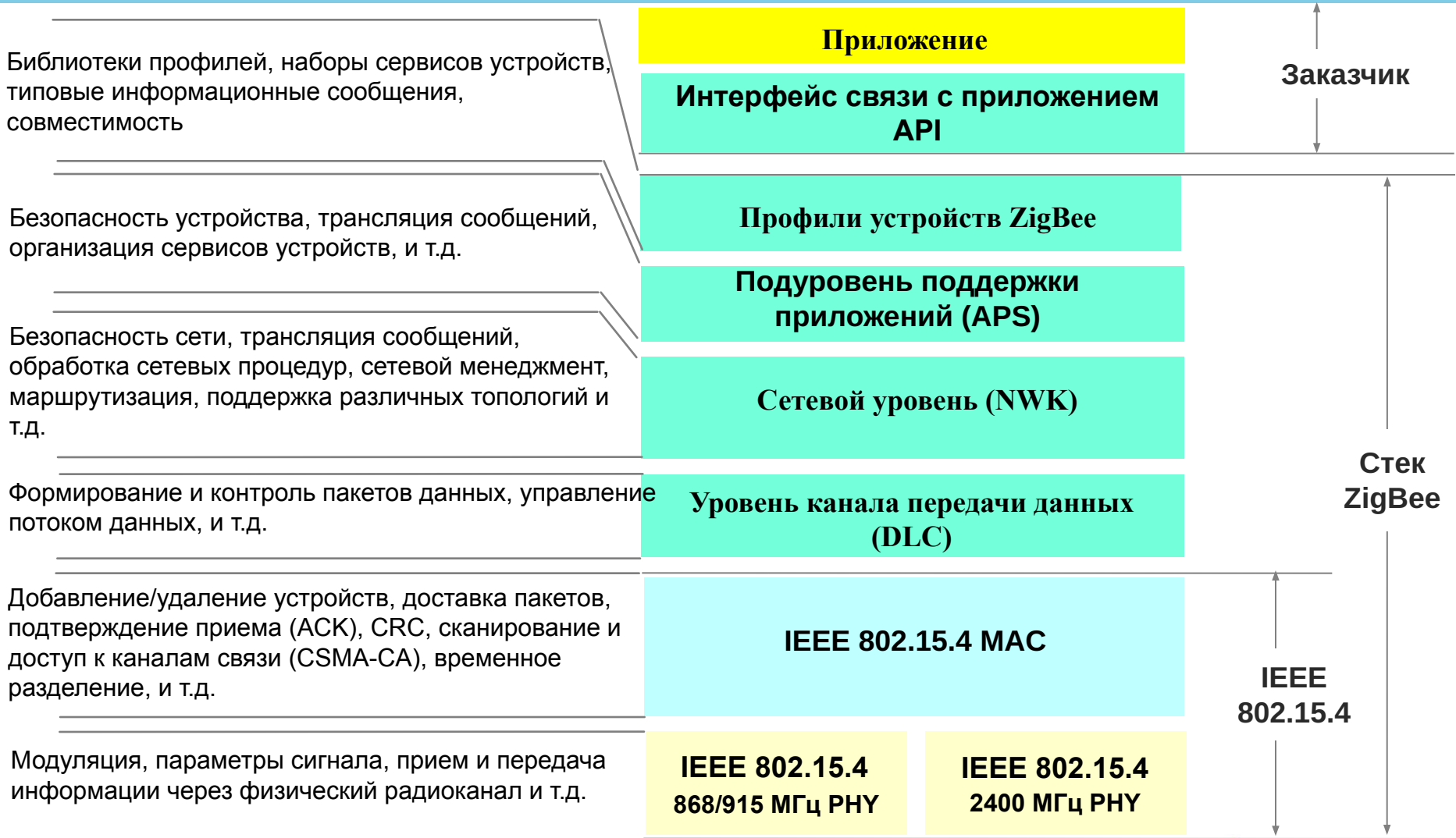
Реализация разных типов устройств в зависимости от требуемой функциональности (RFD и FFD)

Продолжается работа с институтом IEEE для дальнейшего развития стандарта

IEEE 802.15.4

Релизует функции физического и канального уровня

Структура стека протокола ZigBee



Библиотеки профилей, наборы сервисов устройств, типовые информационные сообщения, совместимость

Безопасность устройства, трансляция сообщений, организация сервисов устройств, и т.д.

Безопасность сети, трансляция сообщений, обработка сетевых процедур, сетевой менеджмент, маршрутизация, поддержка различных топологий и т.д.

Формирование и контроль пакетов данных, управление потоком данных, и т.д.

Добавление/удаление устройств, доставка пакетов, подтверждение приема (ACK), CRC, сканирование и доступ к каналам связи (CSMA-CA), временное разделение, и т.д.

Модуляция, параметры сигнала, прием и передача информации через физический радиоканал и т.д.

Заказчик

Стек ZigBee

IEEE 802.15.4

Приложение

Спецификация Альянса ZigBee

Спецификация IEEE 802.15.4



Freescale™ and the Freescale logo are trademarks of Freescale Semiconductor, Inc. All other product or service names are the property of their respective owners. © Freescale Semiconductor, Inc. 2004

Общая характеристика IEEE 802.15.4

802.15.4 – простой протокол передачи данных в беспроводных соединениях с небольшими объемами передаваемой информации

Доступ к среде:

- CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with collision avoidance)

Три частотных диапазона, 27 каналов

- 2.4 ГГц: 16 каналов, скорость передачи 250 кБит/с
- 868.3 МГц : 1 канал, скорость передачи 20 кБит/с
- 902-928 МГц: 10 каналов, скорость передачи 40 кБит/с

Подтверждение принятия сообщения, возможна работа по временным слотам

Обеспечение безопасности соединения на нескольких уровнях

Хорошо работает в приложениях с нефиксированной задержкой

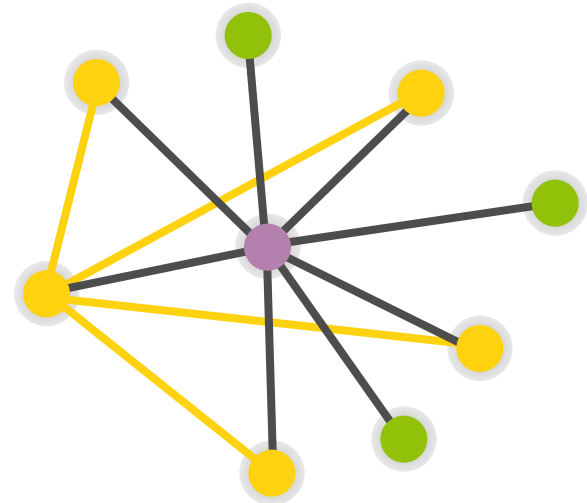
- Дистанционное управление и мониторинг

Разработан с учетом требований к пониженному энергопотреблению

- Время функционирования может превышать срок службы батареи
- Устройства могут прослушивать эфир в спящем режиме

Basic network characteristics

- До 65,536 оконечных точек (клиентов)
- 1 сетевой координатор (мастер)
- Optimized for timing-critical applications
 - Добавление устройства в сеть: ~30 мс
 - Переход в активное состояние: ~15 мс
 - Доступ к каналу передачи: ~15 мс



- Сетевой координатор
- Устройство с полной функциональностью
- Устройство с малой функциональностью
- Коммуникационные потоки
- Логические линии связи

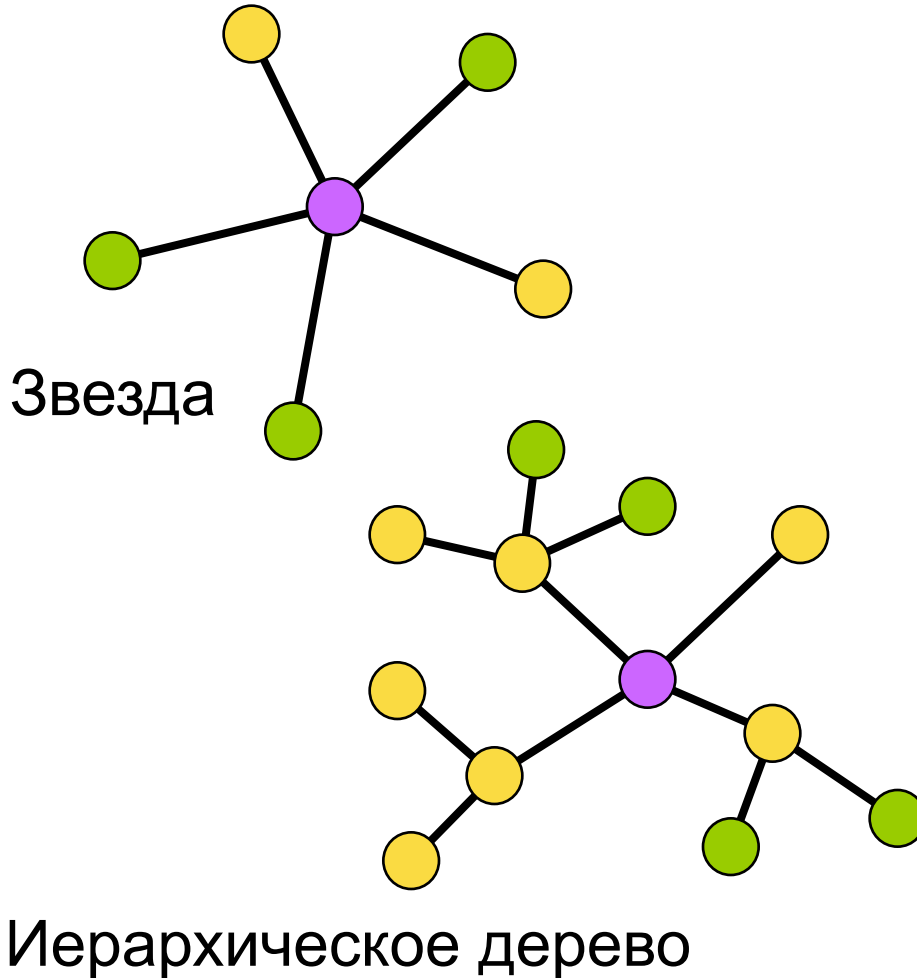
Типы устройств в стандарте IEEE 802.15.4

Три типа устройств

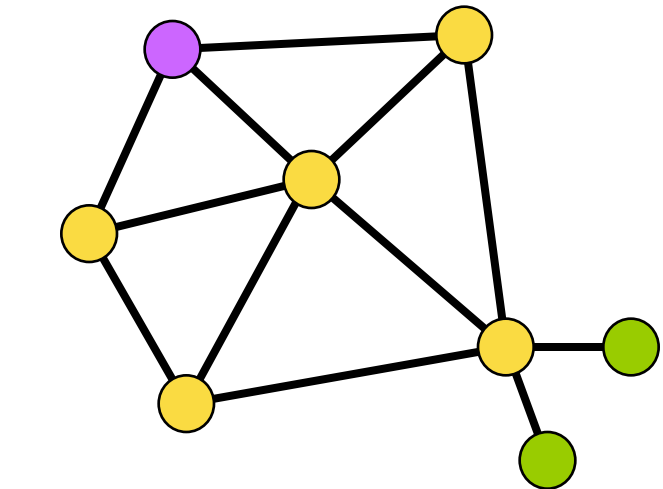
- **Сетевой координатор**
 - Содержит полную таблицу устройств и соединений в сети
 - Наиболее сложный тип устройств
 - Большой объем памяти и высокая производительность
- **Устройство с полной функциональностью**
 - Поддерживает все функции, определенные стандартом 802.15.4
 - Идеально подходит для выполнения функций маршрутизации – необходимо иметь достаточный объем памяти и высокую производительность
 - Может выполнять функции шлюза или моста для связи с другими сетями
- **Устройство с малой функциональностью**
 - Поддерживает минимальный набор функций (согласно стандарту), что позволяет использовать дешевые МК и снизить цену
 - Выполняют роль оконечных узлов в сети




Поддерживаемые сетевые топологии

Topology models



Многоячейковая сеть



-  Сетевой координатор
-  Устройство с полной функциональностью
-  Устройство с малой функциональностью

Основные функции MAC IEEE 802.15.4

Реализация адресации (64-bit IEEE и 16-bit короткий адрес)

- 64-bit for associations, 16-bit for signaling
- Using local addressing, simple networks of more than 65,000 (2^{16}) nodes can be configured, with reduced address overhead

Определяет набор функций для устройств разных типов

- Сетевой коммутатор
- Устройство с полной функциональностью (FFD)
- Устройство с малой функциональностью (RFD)

Определяет структуру кадра

Обеспечение надежной доставки данных

Поддержка сервисов по подключению / отключению к сети

Поддержка функций шифрования AES-128

Определяет метод доступа к каналу CSMA-CA

Поддерживает дополнительные структуры кадров для организации временных слотов

Основные функции MAC IEEE 802.15.4

Два способа доступа к каналу передачи

- **Передача в произвольные моменты времени**
 - Стандартный механизм ALOHA CSMA-CA
 - Передача подтверждения при успешной доставке пакета данных
- **Передача по временным слотам**
 - Использование специальной структуры кадра
 - > Сетевой координатор передает сигналы синхронизации через определенные промежутки времени
15 мс to 252 с ($15.38 \text{ мс} * 2^n$ where $0 \leq n \leq 14$)
16 равных временных слотов между сигналами синхронизации
Доступ к временному слоту в каждый момент времени свободен от коллизий
 - > Позволяет выделить гарантированные временные слоты для передачи

Три уровня безопасности сети

- Без контроля
- Доступ к сети разрешается только прописанным устройствам
- Использование шифрования с симметричным ключом AES-128



Сравнительный анализ и совместная работа беспроводных сетей разных стандартов



Сравнение стандартов семейств 802.15 и 802.11

Стандарт	802.15.4 ZigBee™			802.15.1 Bluetooth	802.15.3 High Rate WPAN, WiMedia	802.15.4a* UWB	802.11b Wi-Fi
Приложения	Мониторинг, управление, сети датчиков, домашняя / промышленная автоматика			Голос, данные, замена кабелей	Потоковое мультимедиа, замена кабелей аудио/видео систем		Данные, видео, LAN
Преимущества	Цена, энергосбережение, размеры сети, выбор частотных диапазонов			Цена, энергосбережение, передача голоса, перескок частот	Высокая скорость, энергосбережение		Скорость, гибкость
Частота	868МГц	915МГц	2.4ГГц	2.4ГГц	2.4ГГц	3.1 – 10.6 ГГц	2.4ГГц
Макс. скорость	20кбит/с	40кбит/с	250кбит/с	1Мбит/с	22Мбит/с (доп. 11, 33, 44, 55 Мбит/с)	110Мбит/с (10м), 200Мбит/с (4м) (доп. 480Мбит/с)	11Мбит/с
Выходная мощность, ном.	0dBm (1мВт)			0dBm (класс 3) 4dBm (класс 2) 20dBm (класс 1)	0 dBm	<100мВт (110Мбит/с) <250мВт (200Мбит/с)	20dBm
Дальность	10-100м			10м (класс 3) 100м (класс 1)	5-50м	10м (110Мбит/с) 4м (200Мбит/с)	100м
Чувствительность (спецификация)	-92dBm		-85dBm	-70dBm	-75dBm	-	-76dBm
Размер стека	4-32 Кбайт			Более 250 Кбайт	-		Более 1 Мбайт
Срок службы батареек	100 – 1000+ дней			1-7 дней	Теоретически более 1000 дней		0.5-5 дней
Размер сети	65536 (16-битные адреса), 2 ⁶⁴ (64-битные адреса)			Мастер + 7	До 127/хост		32

ZigBee™ / Bluetooth / WLAN

ZigBee (WPAN)

802.15.4 Standard

250 kbps

TX: 30-35 mA

Standby: <3 μ A

32-60 kb Memory

Remote Control & Monitoring

Permanent Mesh networking

Bluetooth (WPAN)

802.15.1 Standard

1 Mbps

TX: 40 mA

Standby: 200 μ A

100+ kb Memory

Telecom Audio, Small file Xfer

Ad Hoc Point to multi-point

Wi-Fi (WLAN)

802.11b/g Standard

Up to 54 Mbps

TX: 400+ mA

Standby: 20 mA

100+kb Memory

Access Points, LAN Extension

Permanent Point to multi-point

ZigBee™ и Bluetooth

Bluetooth:

Постоянное соединение со средней скоростью передачи

- 1 Mbps, ~700 kbps в лучшем случае (асимметричный режим)
- Передача файлов, голосовая связь
- Точка-точка, звезда (пикосеть), до 7 устройств

ZigBee:

Низкая скорость передачи, низкая скважность

- 250 kbps, 60-115 kbps (обычно)
- Большой срок работы от батарей (до нескольких лет)
- Более сложные сетевые структуры, до 65536 устройств

Целесообразность использования (в зависимости от времени активного состояния) при работе от батареи

- > 1 с ВТ ≈ ZigBee
- < 1 с лучше ZigBee

Основная разница между стандартами в реализации протокола

Время работы от батарей: ZigBee™ и Bluetooth

Анализ на основе опубликованных данных по Bluetooth и ZigBee (RFIC и МК HCS08)

Пример 1 High-Duty Cycle

Передача 5 байтов через 1.28 с при емкости батареи 200 mAh

При использовании *Bluetooth*: 15 дней

При использовании *Freescale ZigBee*: 33 дня

Пример 2 'Event Driven' Applications (security system scenario)

Сетевой координатор питается от обычной сети

Датчик передает сигнал каждые 60 с + происходит 10 событий в день
2 батареи типа AA

При использовании *Bluetooth*: 100 дней

Battery lifetime based on *Freescale ZigBee*: 3559 дней или 9.8 лет

Совместная работа беспроводных сетей

Возможна интерференция между сетями в любом нелицензированном частотном диапазоне

Комитеты IEEE 802.11 и 802.15.2 прорабатывают вопросы взаимного влияния сетей различных стандартов

Устойчивость протокола ZigBee™/802.15.4

- Прослушивание канала перед посылкой
 - Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance
- Если подтверждение не получено, устройство ожидает и снова делает попытку передачи
- Низкая скважность сигнала ZigBee (1% до 0.1% Duty Cycles)

Самые вероятные источники помех (802.11b/g, ВТ, СВЧ-печи) имеют максимальную скважность 50%

- При скважности 1% очень высокая вероятность успешной передачи

