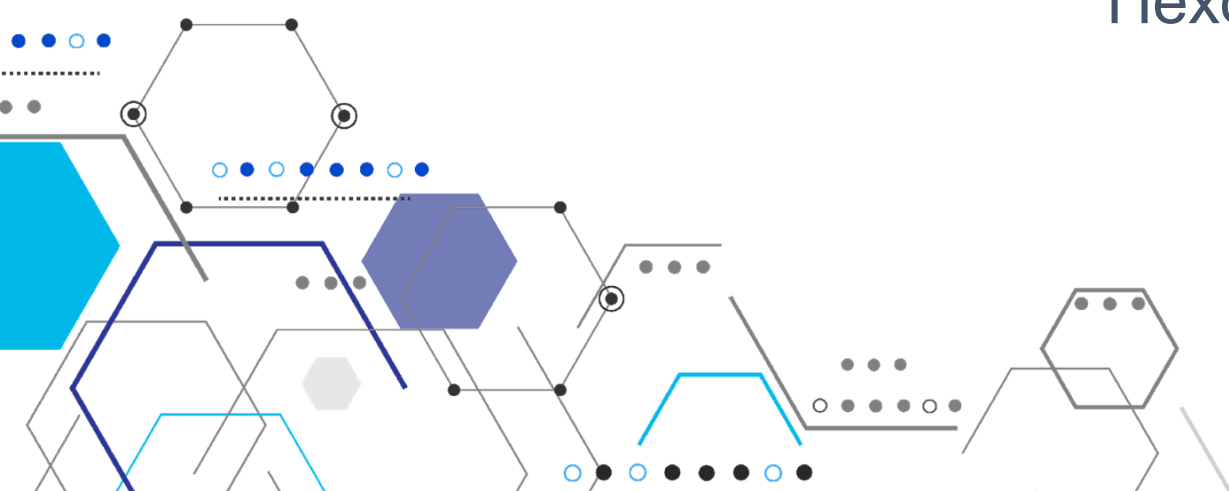


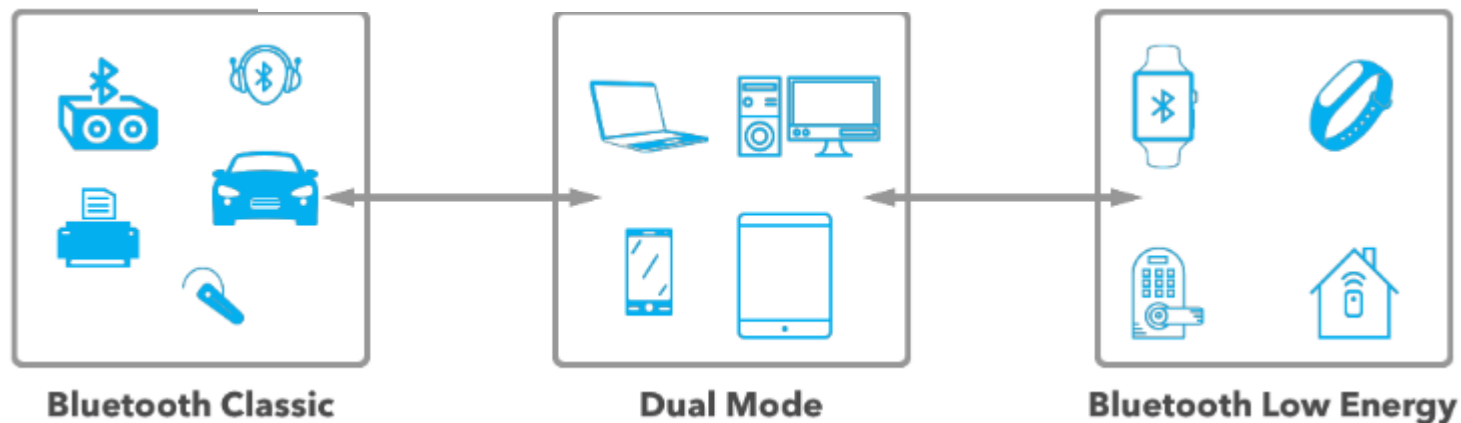
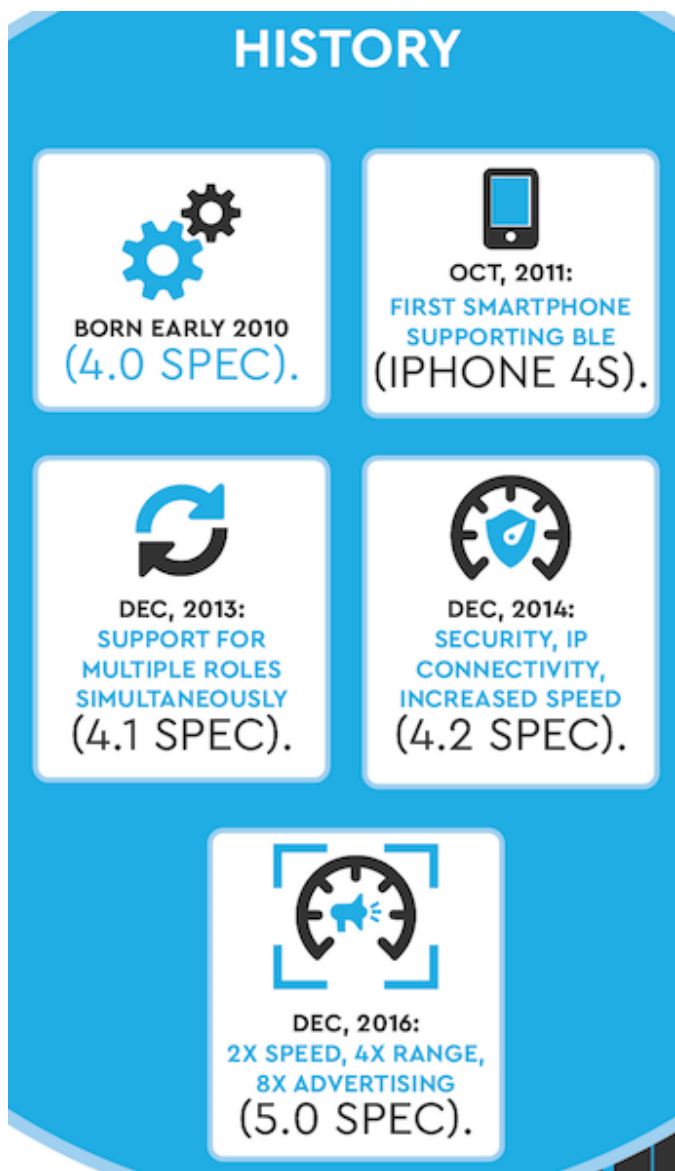


Взаимодействие устройств по Bluetooth Low Energy

Пехов Олег



История BLE



Сравнение BLE и Bluetooth Classic



	Bluetooth Low Energy (LE)	Bluetooth Classic
Frequency Band	2.4GHz ISM Band (2.402 – 2.480 GHz Utilized)	2.4GHz ISM Band (2.402 – 2.480 GHz Utilized)
Channels	40 channels with 2 MHz spacing (3 advertising channels/37 data channels)	79 channels with 1 MHz spacing
Channel Usage	Frequency-Hopping Spread Spectrum (FHSS)	Frequency-Hopping Spread Spectrum (FHSS)
Data Rate	LE 2M PHY: 2 Mb/s LE 1M PHY: 1 Mb/s LE Coded PHY (S=2): 500 Kb/s LE Coded PHY (S=8): 125 Kb/s	EDR PHY (8DPSK): 3 Mb/s EDR PHY ($\pi/4$ DQPSK): 2 Mb/s BR PHY (GFSK): 1 Mb/s
Network Topologies	Point-to-Point (including piconet) Broadcast Mesh	Point-to-Point (including piconet)

Преимущества и недостатки BLE



Преимущества BLE:

- Низкое энергопотребление
- Бесплатный доступ к официальным спецификациям
- Низкая цена модулей и чипсетов по сравнению с другими технологиями
- Широкое распространение за счет использования в смартфонах

Недостатки BLE:

- Ограниченная пропускная способность
- Небольшая дальность передачи
- Для Интернет-соединения необходим шлюз

Роли устройств BLE

Broadcaster



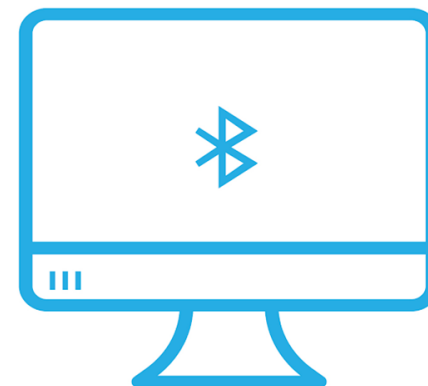
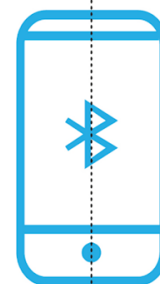
Observer



Central



Peripheral



Central Role

Peripheral Role

Архитектура BLE

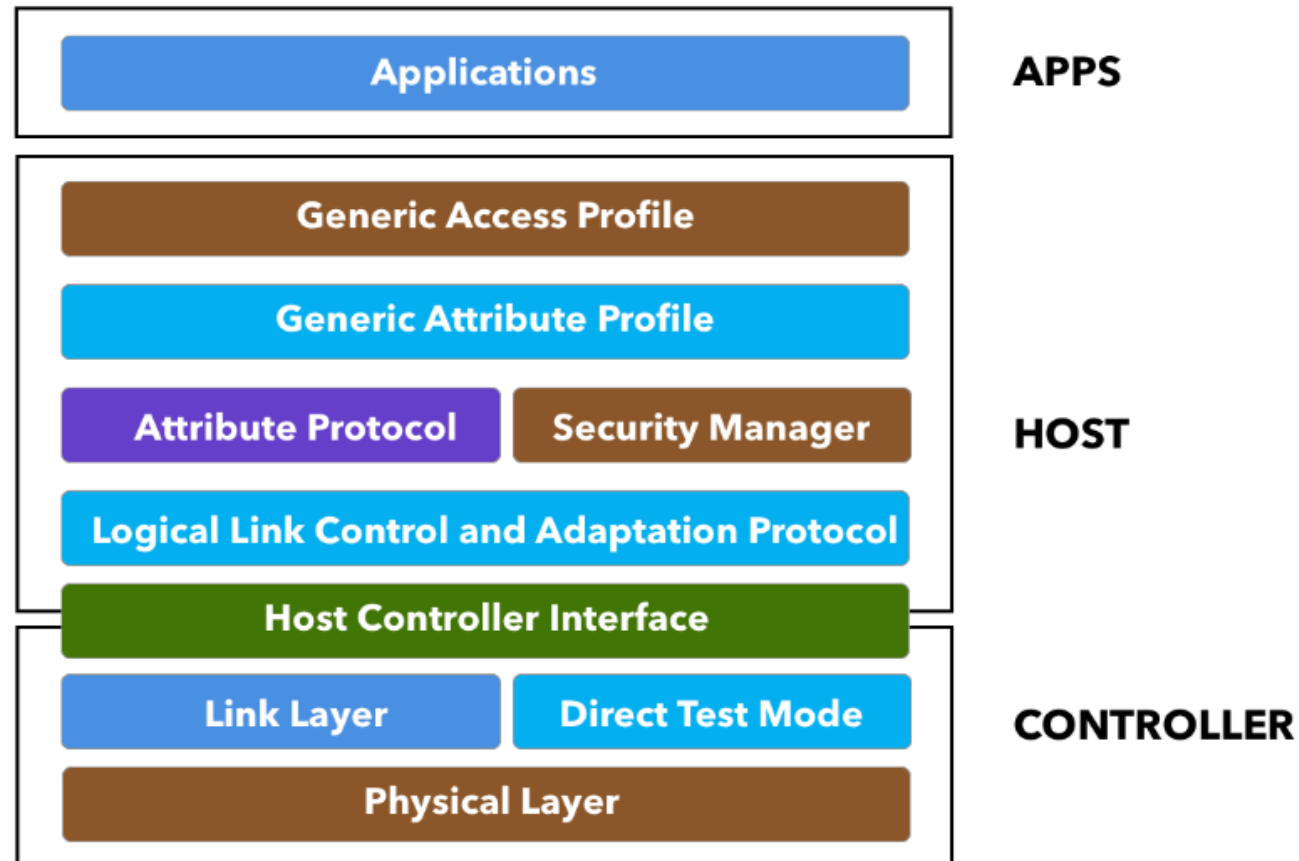


Уровень *хоста* содержит следующие уровни:

- GAP (Generic Access Profile) — профиль общего доступа,
- GATT (Generic Attribute Profile) — профиль общих атрибутов,
- L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol) — протокол логического соединения и адаптации,
- ATT (Attribute Protocol) — протокол атрибутов,
- SM (Security Manager) — менеджер безопасности,
- HCI (Host Controller Interface) — интерфейс хост-контроллер, часть на стороне хоста,

Уровень *контроллера* имеет следующие уровни:

- HCI — интерфейс хост-контроллер со стороны контроллера,
- LL (Link Layer) — канальный уровень,
- PHY — физический уровень.



Профили Bluetooth



Профиль — набор функций или возможностей, доступных для определённого устройства. Для совместной работы Bluetooth-устройств необходимо, чтобы все они поддерживали общий профиль.

Общий профиль доступа (GAP)

предоставляет фреймворк, который определяет способы взаимодействия BLE-устройств друг с другом:

- Режимы и роли устройств;
- Обнаружение устройств;
- Установка соединения;
- Обеспечение безопасности

Профиль общих атрибутов (General Attribute Protocol, GATT) – это обязательный профиль с общими спецификациями отправки и приёма коротких порций данных, известных в Bluetooth LE под названием «атрибуты»..

Примеры профилей:

- Advanced Audio Distribution Profile (A2DP)
- Device ID Profile (DIP)
- Alert Notification Profile.
- Human Interface Device Profile (HID)
- Heart Rate Profile

Сервисы и характеристики

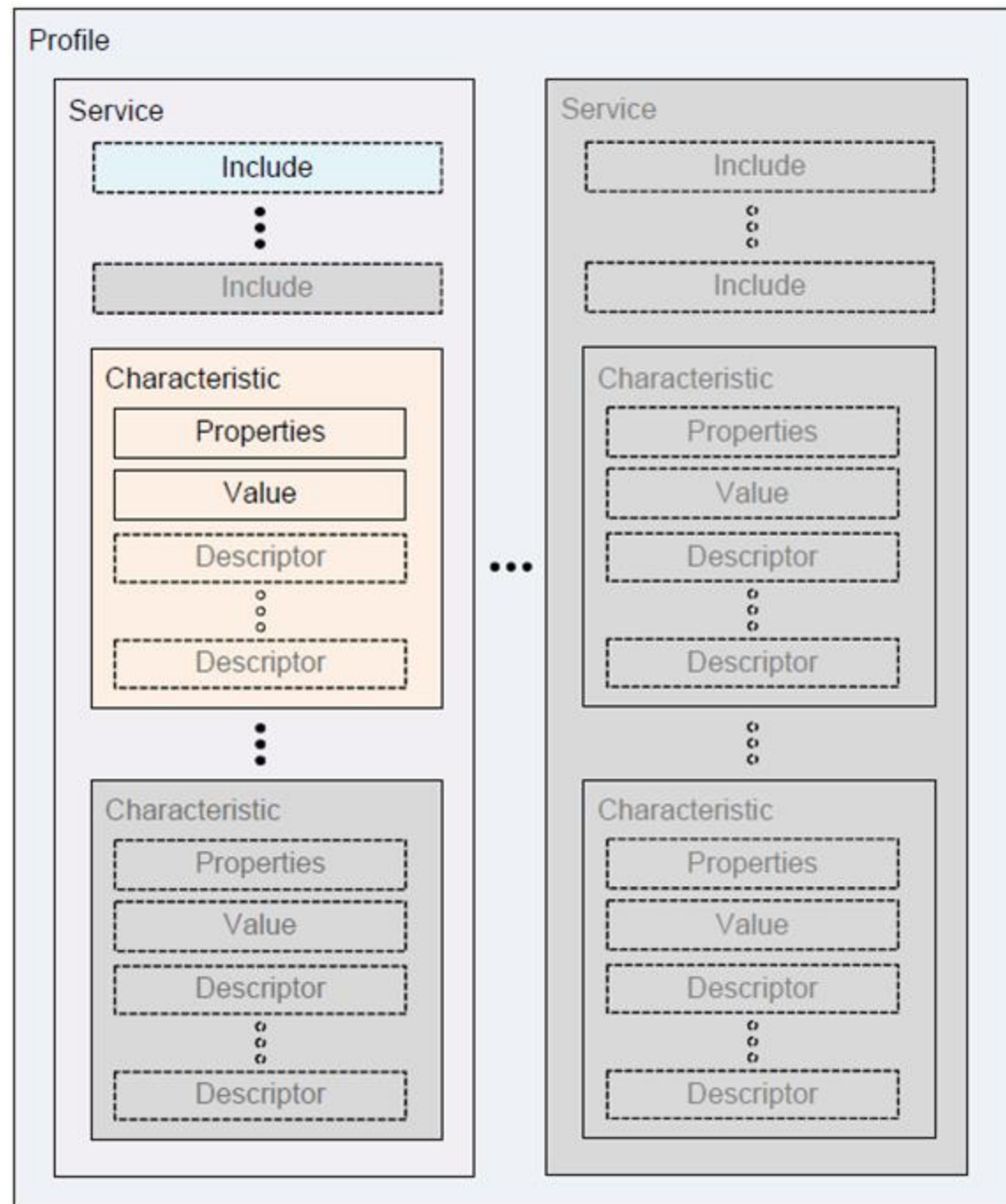


Протокол атрибутов (АТТ) - определяет, в каком виде сервер представит свои данные клиенту и как эти данные будут структурированы. Роли АТТ:

- Сервер
- Клиент

Атрибут это общий термин для любых типов данных, предоставляемых сервером, он определяет структуру этих данных. Любой атрибут характеризуется:

- **Тип атрибута (UUID)** - 16-битное или 128-битное число. Одобренные консорциумом типы атрибутов имеют UUID вида **0000XXXX-0000-1000-8000-00805F9B34FB**
- **Дескриптор атрибута** - 16-битное число, которое сервер присваивает каждому из своих атрибутов, используется клиентом как ссылка на конкретный атрибут,
- **Права атрибута** - определяют, может ли атрибут быть прочитан или записан, может ли он посылать уведомления или индикации, и какие уровни доступа требуются для каждой из этих операций.



Сервисы и характеристики



Сервисы - группа из одного или большего числа атрибутов, некоторые из которых являются характеристиками, предназначены для группировки связанных атрибутов
Типы сервисов:

- **Первичный сервис**
- **Вторичный сервис**

Характеристика - является частью сервиса и предоставляет часть тех данных сервера клиенту.

Атрибуты характеристики:

- **Свойства**
- **Дескрипторы**



Инструменты для работы с BLE

○○○ ○○○



nRF Connect for Mobile



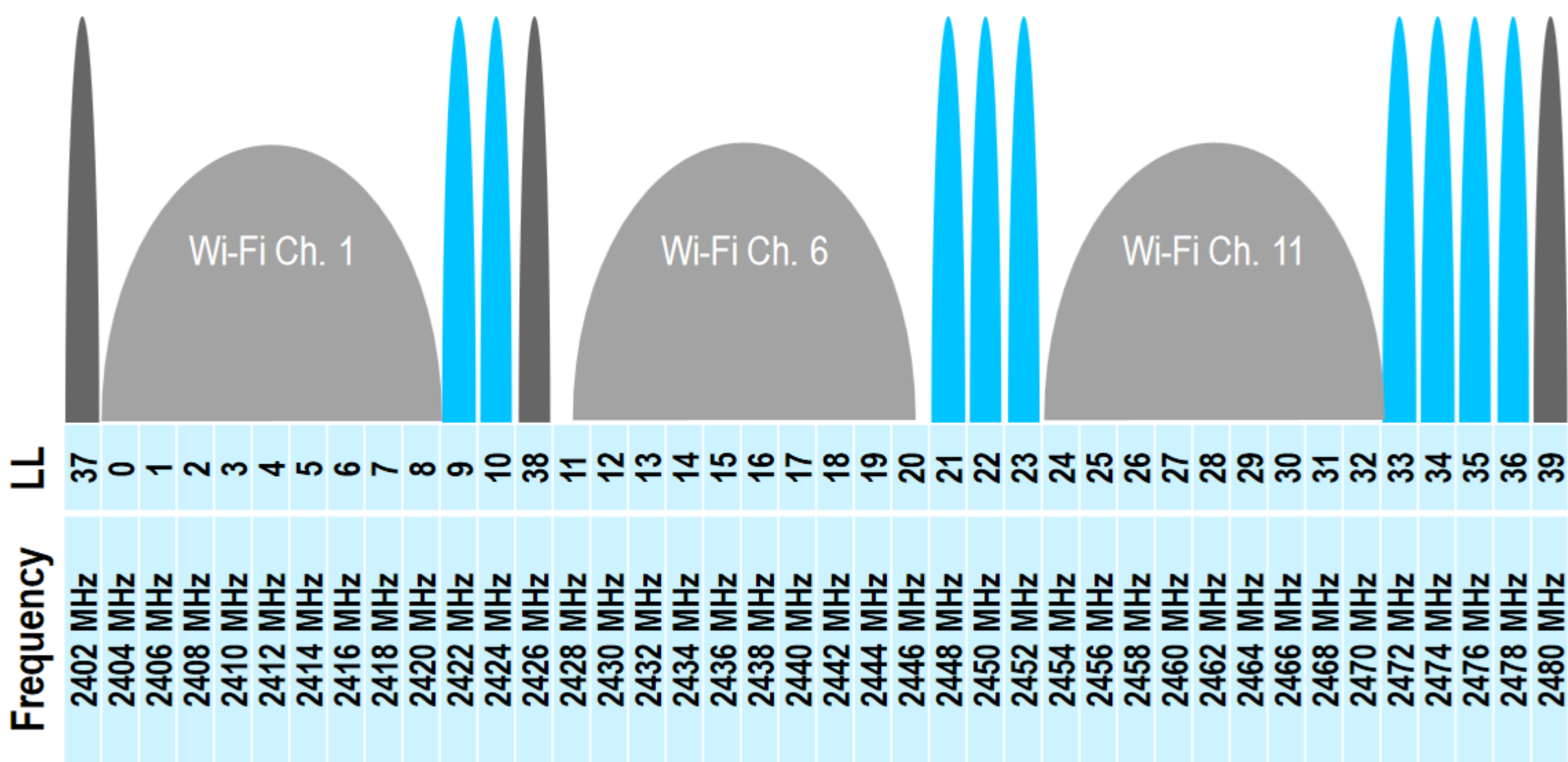
nRF Connect for Desktop



- nRF52840 Dongle
- nRF52840 DK
- nRF52 DK
- nRF51 DK
- nRF51 Dongle

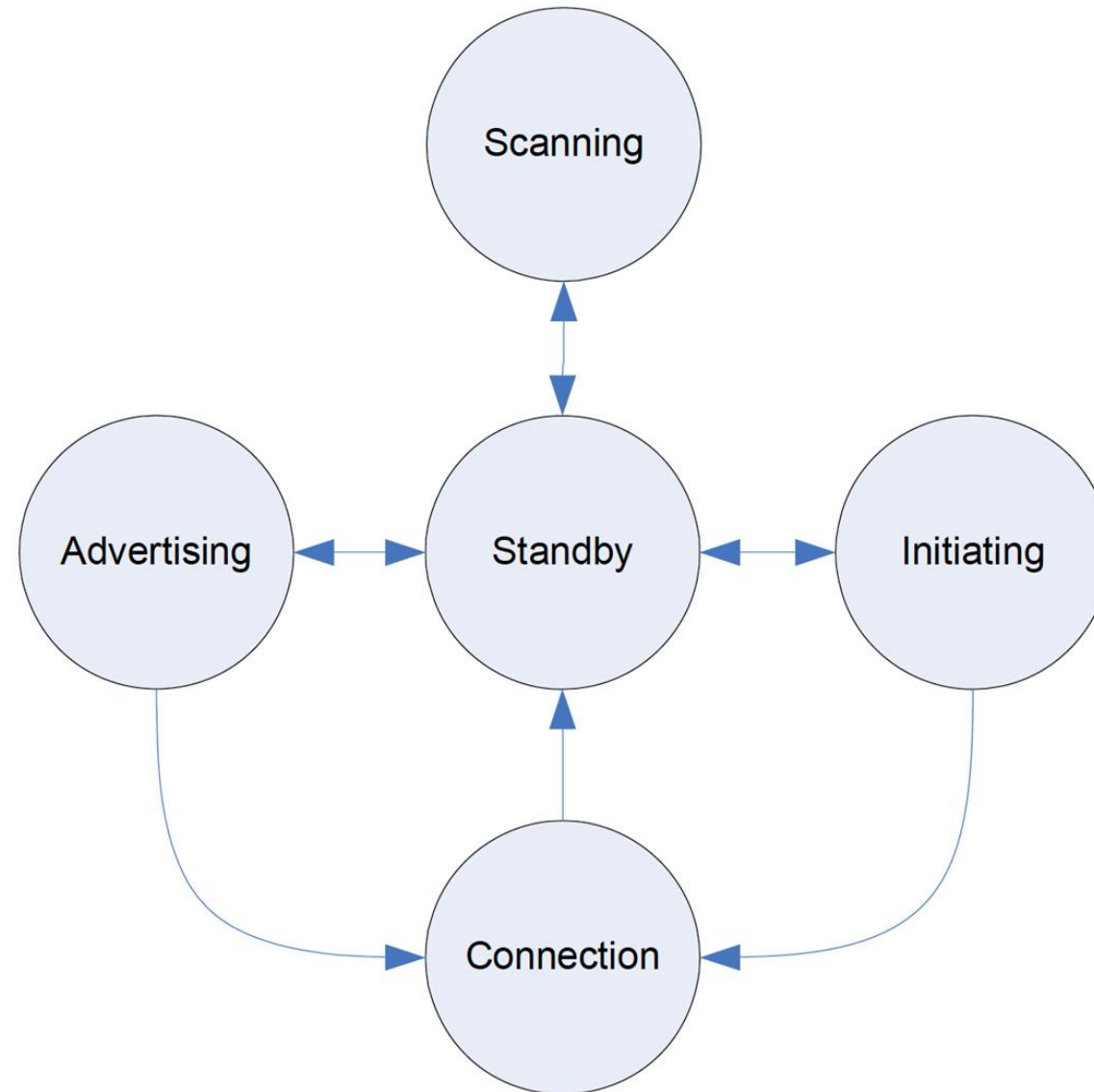
Взаимодействие с устройством BLE

○○○ ○○○



Состояния устройства BLE

○○○ ○○○

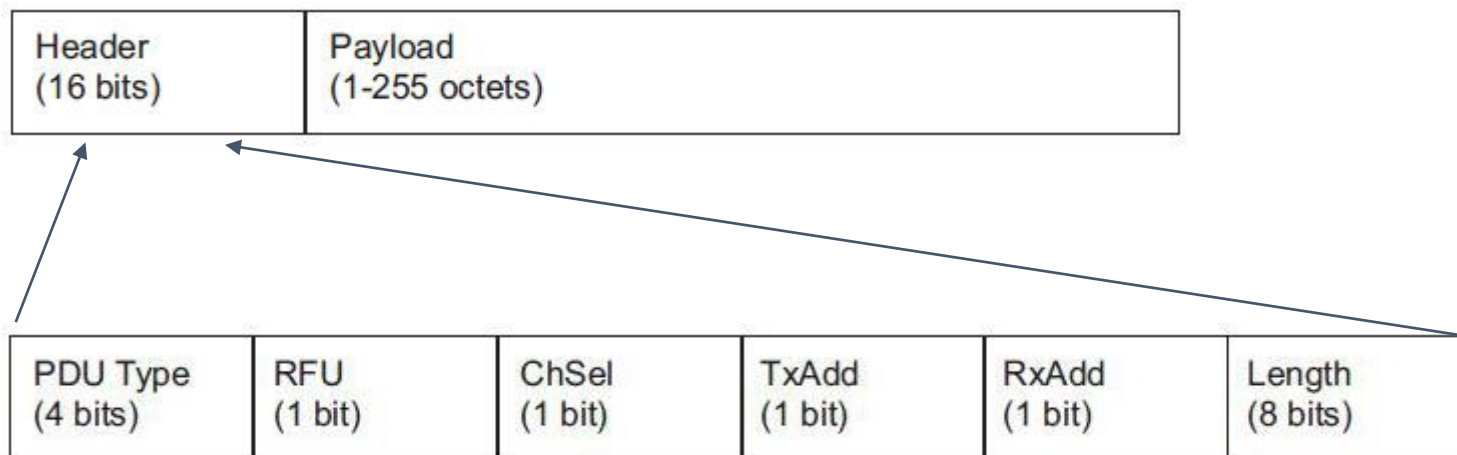


Структура пакета Advertising



Preamble (1 octet)	Access Address (4 octets)	PDU (2 to 39 octets)	CRC (3 octets)
-----------------------	------------------------------	-------------------------	-------------------

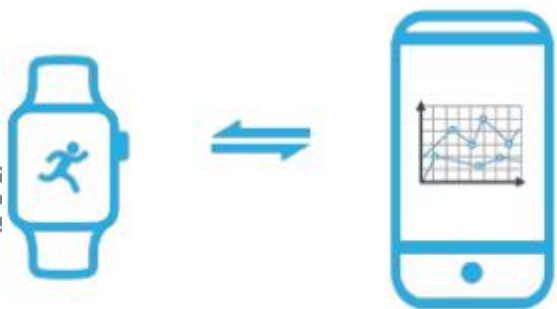
Access Address на всех рекламных каналах, в отличие от рабочих, одинаков (**0x8E89BED6**),



PDU Type $b_3b_2b_1b_0$	Packet Name
0000	ADV_IND
0001	ADV_DIRECT_IND
0010	ADV_NONCONN_IND
0011	SCAN_REQ
0100	SCAN_RSP
0101	CONNECT_REQ
0110	ADV_SCAN_IND
0111-1111	Reserved

Особенности сканирования BLE

○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

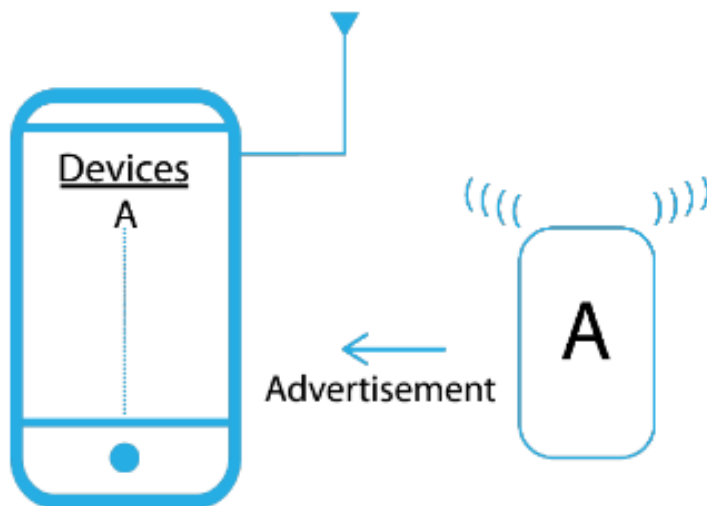


Connection-oriented
(Bi-directional data transfer)

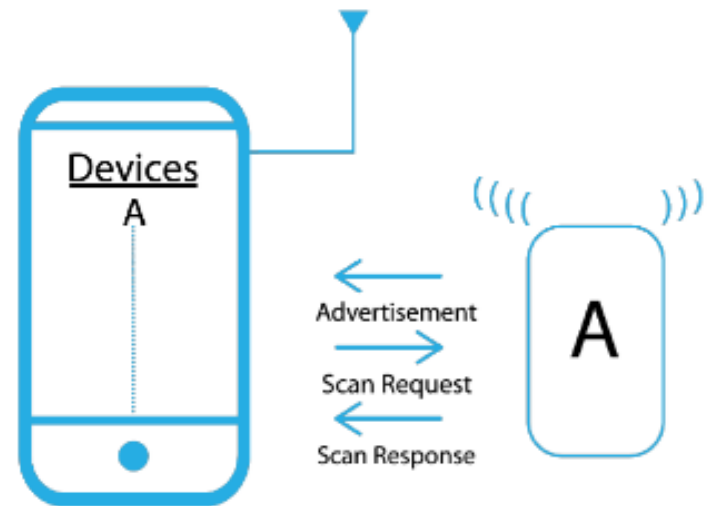


Connectionless
(Uni-directional data transfer)

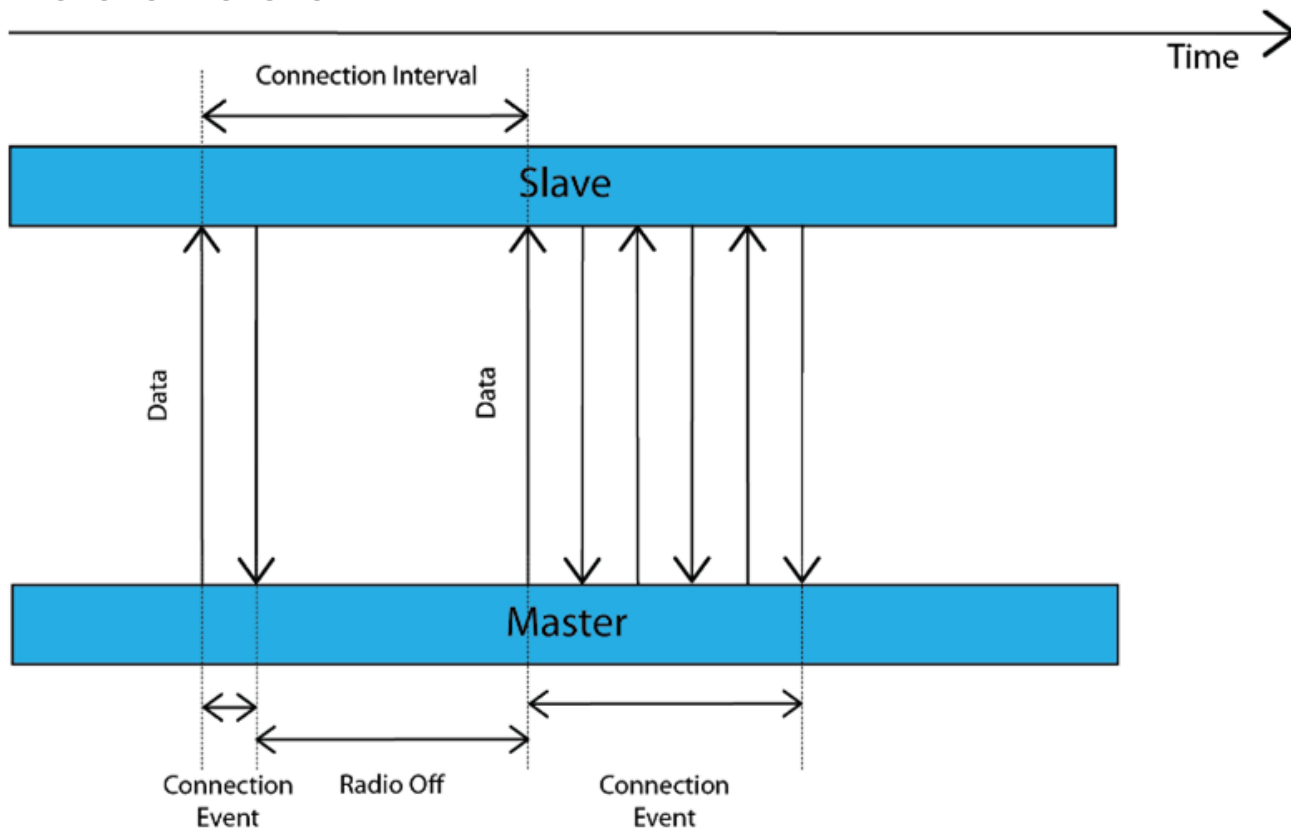
Passive Scanning



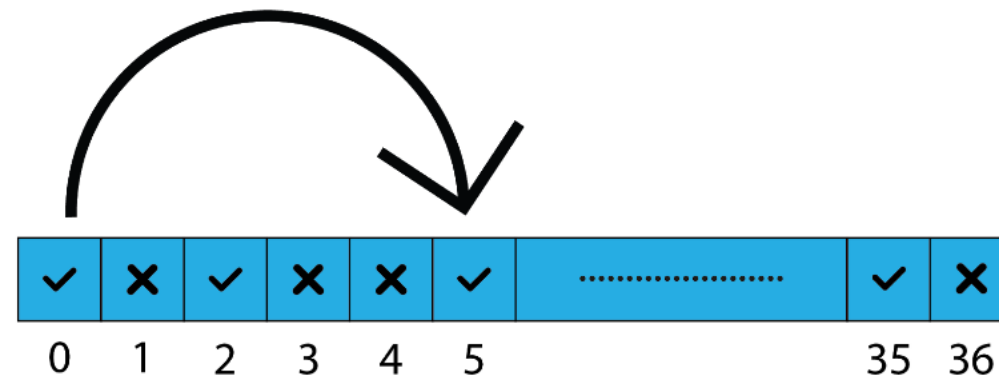
Active Scanning



Работа в режиме присоединения



Hop Increment = 5



LLData									
AA	CRCInit	WinSize	WinOffset	Interval	Latency	Timeout	ChM	Hop	SCA
(4 octets)	(3 octets)	(1 octet)	(2 octets)	(2 octets)	(2 octets)	(2 octets)	(5 octets)	(5 bits)	(3 bits)



Спасибо за внимание!

