

САМООРГАНИЗУЮЩАЯСЯ БЕСПРОВОДНАЯ СЕТЬ НА БАЗЕ МОДУЛЕЙ СПЕЦИФИКАЦИИ BLUETOOTH 4.0

А.В. СТАНКЕВИЧ, Ал.А. ПЕТРОВСКИЙ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Спецификация Bluetooth

Спецификация Bluetooth была разработана группой Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG). После достижения соглашения с IEEE спецификация Bluetooth стала частью стандарта IEEE 802.15. В 2010 году в спецификацию ядра Bluetooth 4.0 была интегрирована технология с низким энергопотреблением (Bluetooth low energy, Bluetooth LE). Технология Bluetooth 4.0 была специально разработана для использования в устройствах, которым требуется продолжительное автономное функционирование без подзарядки аккумулятора или смены батарейки.



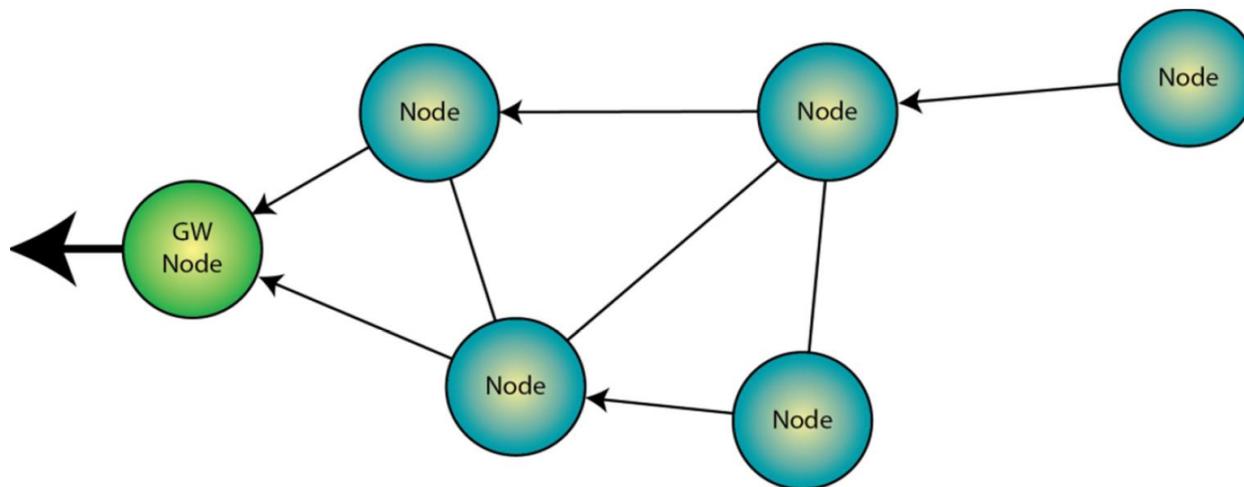
В докладе рассматривается возможность использования модулей Bluetooth LE в однородной сети для обмена сообщениями между ее отдельными узлами. Направление потока передаваемой информации по сети может быть произвольным и любой узел имеет возможность передачи информации любому другому узлу сети модулей Bluetooth LE. Узлы могут перемещаться.

Проведены исследования возможности передачи по такой сети голосовых сообщений.

Беспроводные сети датчиков

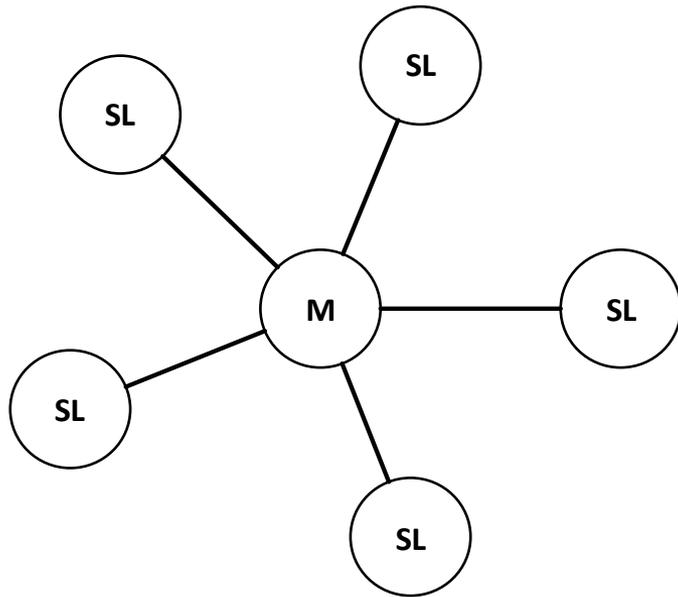
Спецификация Bluetooth 4.0 ориентирована в первую очередь на беспроводные датчики для медицины, спорта, дома и промышленности.

Информацию, полученную Bluetooth LE модулями, обычно требуется передать в некоторое центральное устройство обработки данных или через шлюз в Internet. В этом случае может строиться сеть узлов Bluetooth LE со строго определенным направлением потока передаваемой информации от беспроводных датчиков к центральному устройству обработки данных или шлюзу (wireless sensor network).



Топология сети спецификации Bluetooth 4.0

Единственно возможной топологией является звезда.



M – ведущее устройство

SL – ведомое устройство

Любое Bluetooth LE устройство имеет возможность быть настроенным на выполнение роли ведущего или подчиненного устройства.

Ведущее устройство инициирует соединение в пикосети. Подчиненное устройство может одновременно быть подключено только к одному ведущему устройству.

При организации сети Bluetooth LE модуль может также выполнять роли запрашивающего устройства (advertiser) или сканера (scanner).

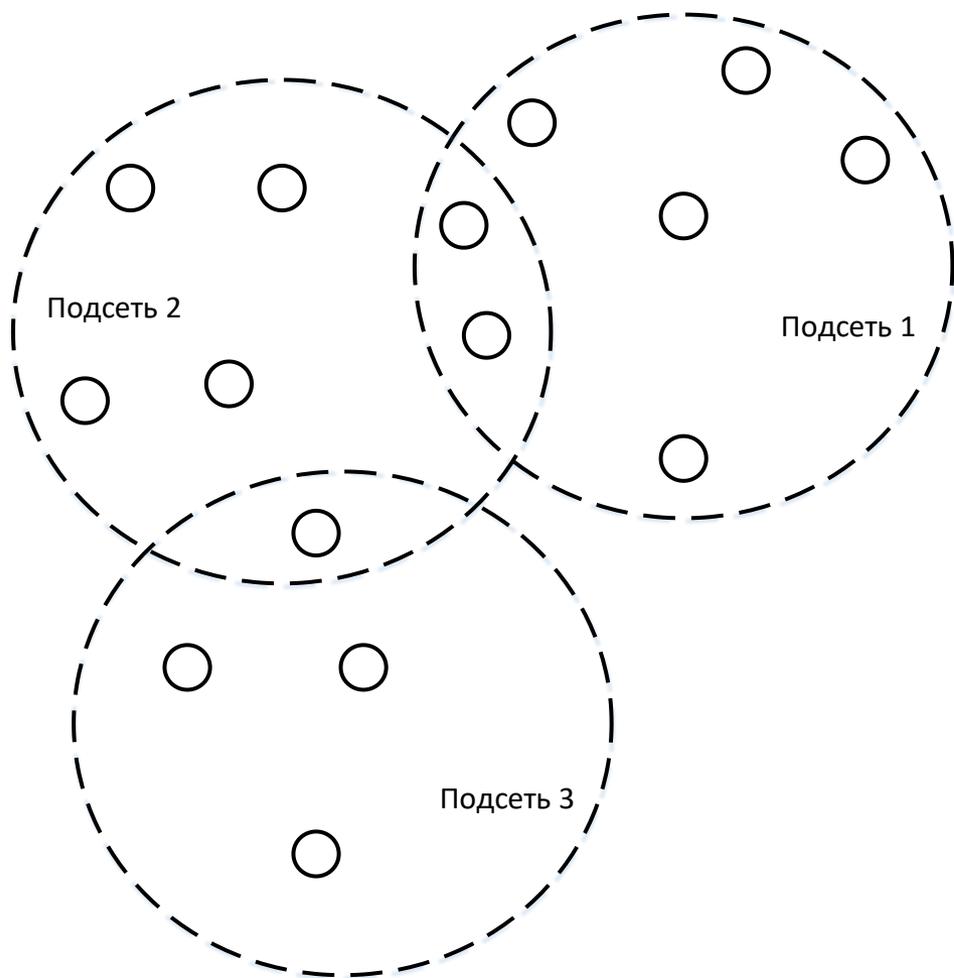
Запрашивающее устройство может передавать в сеть широкопередаточные запросы, ожидая ответов сканирующего устройства.

Сканирующее устройство всегда находится в режиме приема, ожидая захвата сигнала от какого-либо запрашивающего устройства в пределах досягаемости. Сканирующее устройство может установить соединение с запрашивающим устройством и тогда оно станет ведущим устройством.

Любое Bluetooth LE устройство может быть настроено на выполнение роли либо сканера, либо запрашивающего устройства.

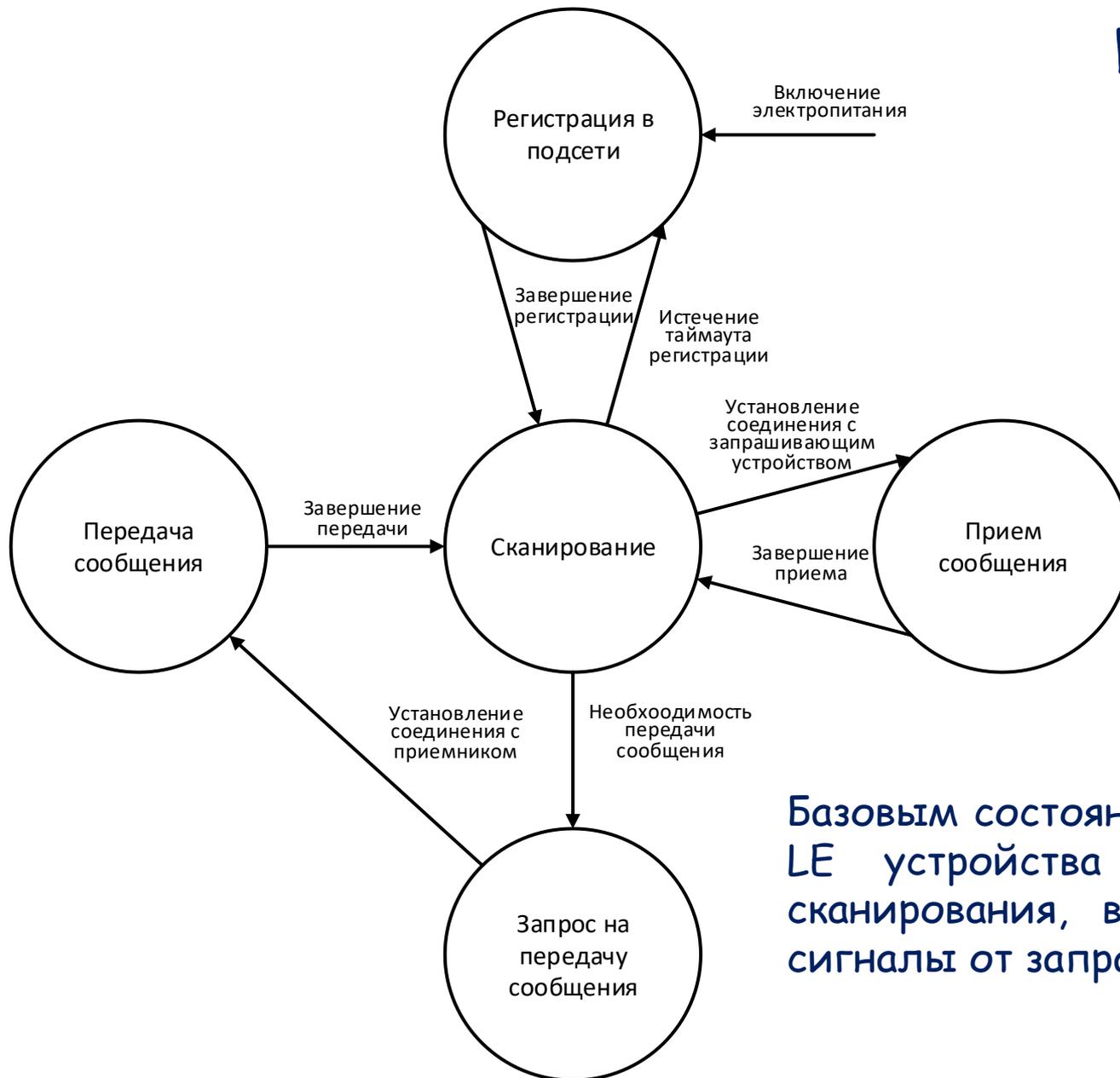
Поскольку имеется возможность программного изменения ролей Bluetooth LE устройства в сети, то появляется возможность ретрансляции сообщения от узла к узлу до достижения требуемого узла сети.

Сеть Bluetooth LE устройств, состоящая из нескольких подсетей.



В подсеть объединены устройства, находящиеся в пределах досягаемости, и имеющих одинаковый идентификатор (номер) подсети. Номер подсети назначается для каждого устройства заранее, исходя из предполагаемого территориального размещения конкретного узла. Узлы могут перемещаться, не покидая пределов досягаемости подсети.

Граф состояний Bluetooth LE устройства предлагаемой сети



Базовым состоянием любого Bluetooth LE устройства является состояние сканирования, в котором ожидаются сигналы от запрашивающих устройств.

Информационная часть пакета запрашивающего устройства

Тип запроса	Номер подсети	Адрес устройства
-------------	---------------	------------------



Таблица доступных устройств

Номер подсети	Адрес (номер устройства в подсети)	RSSI	Время последней регистрации
.....



Receiver Signal Strength Indication

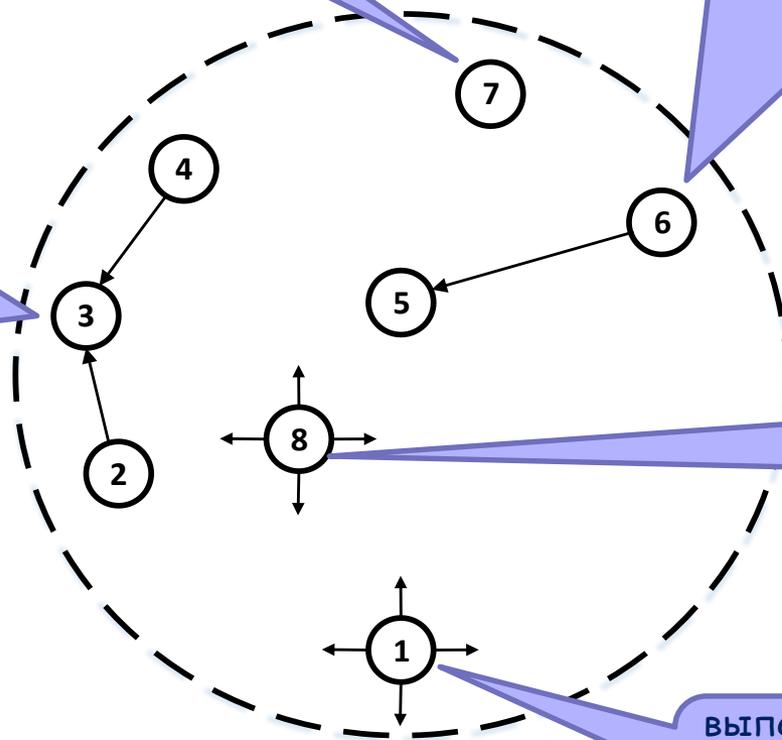
Bluetooth LE устройство может перемещаться, в связи с чем качество связи по радиоканалу может ухудшаться вплоть до полной потери возможности соединения. Поэтому устройству необходимо периодически производить регистрацию в подсети по истечению определенного таймаута (например 10 секунд). Просроченные записи должны удаляться из таблицы доступных устройств.

Примеры возможных ролей устройств подсети

не имеет сообщений для передачи и выполняет роль сканера

устройство 6 обнаружило в пакете запроса на передачу сообщения от устройства 5 свой адрес и выполняет роль инициатора соединения

пикосеть с ведущим устройством 3 и ведомыми устройствами 2 и 4



выполняет широковещательный запрос на регистрацию в подсети

выполняет широковещательный запрос на передачу сообщения (выполняет роль запрашивающего устройства)

Ретрансляция сообщений

Может использоваться при плохом значении RSSI. Позволяет увеличить дальность передачи. В этом случае одно из сканирующих устройств, имеющих хороший текущий уровень RSSI с запрашивающим устройством и хороший уровень RSSI с устройством назначения в таблице доступных устройств, может взять на себя функции ретрансляции сообщения.

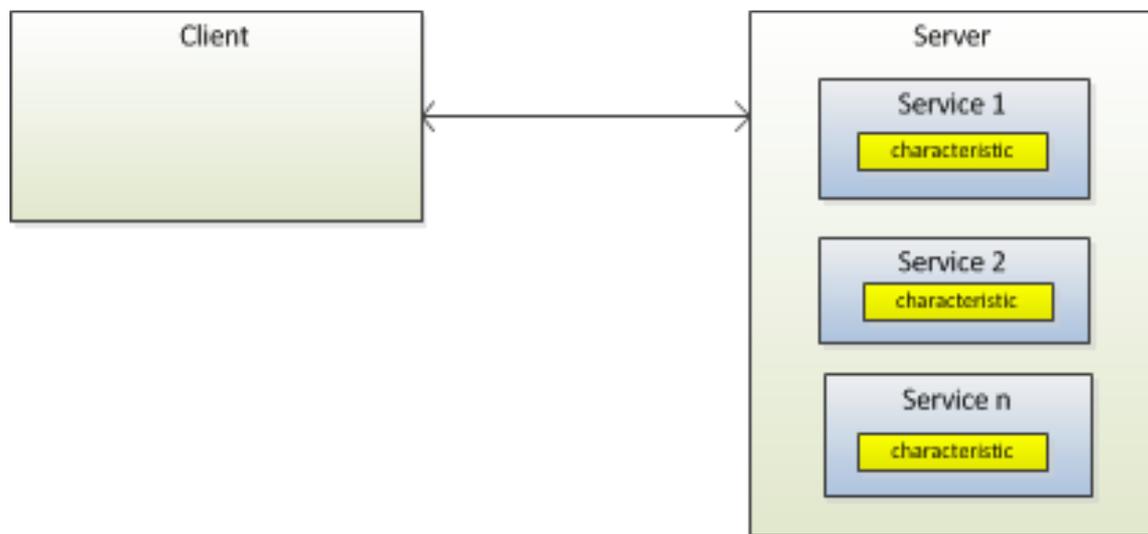
При наличии нескольких потенциальных ретрансляторов никаких коллизий не возникнет, поскольку сообщение получит то устройство, которое раньше установило соединение с запрашивающим устройством (ведомое устройство может установить соединение только с одним ведущим устройством).

Для того, чтобы ретранслятор не перехватил сообщение у устройства с адресом назначения, выполнение функции ретрансляции можно разрешить с некоторой задержкой относительно начала получения запросов на передачу.

Таким образом внутри подсети сообщение можно передавать непосредственно адресату, либо при плохом уровне RSSI с адресатом - через ретранслятор. Между подсетями - через шлюз-ретранслятор.

Generic ATtribute Profile (GATT)

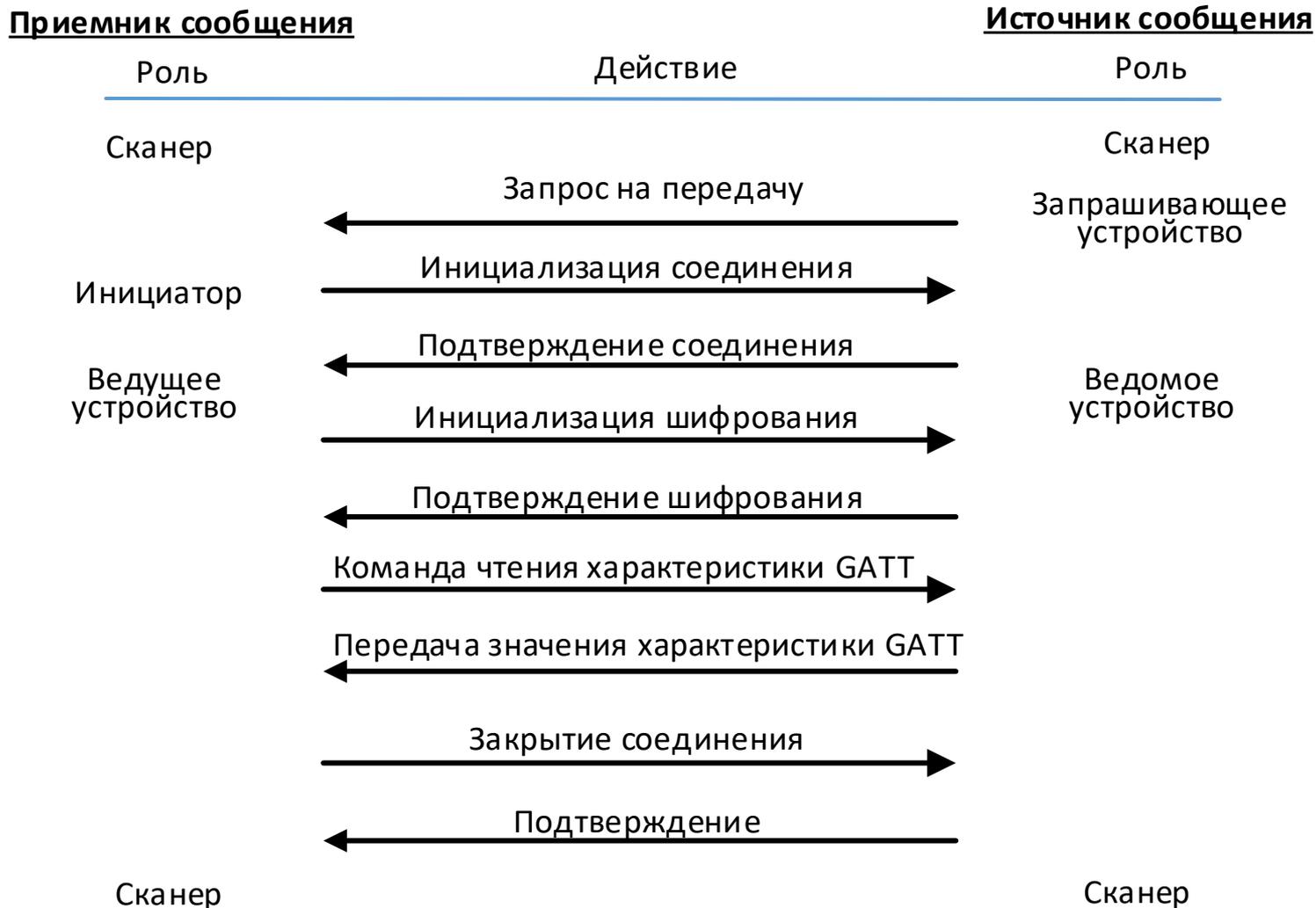
Для передачи данных в Bluetooth LE используется Attribute Protocol (ATT). Протокол реализует клиент-серверную архитектуру, используя которую клиент пишет или читает данные сервера. Роль клиента или сервера может выполнять как ведущее так и ведомое устройство. С помощью Generic ATtribute Profile (GATT) данные (атрибуты) группируются в характеристики, а характеристики - в сервисы.



Для предлагаемой архитектуры сети необходимо создать сервис для обмена сообщениями, в который надо включить характеристику с длиной соответствующей максимальной длине сообщения, либо использовать несколько характеристик.

Небольшие объемы данных для передачи всем соседним узлам сети могут включаться в широковещательные запросы.

Последовательность действий для передачи данных между парой Bluetooth LE устройств и смена ролей устройствами

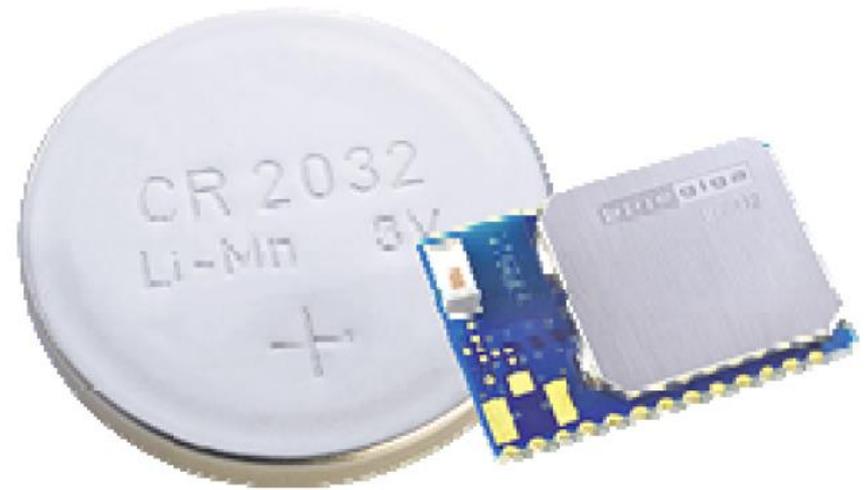


Аппаратная платформа для построения беспроводной сети

В качестве аппаратной платформы узлов беспроводной сети были выбраны модули BLE 112 Bluegiga на базе кристаллов Texas Instruments CC2540/41.

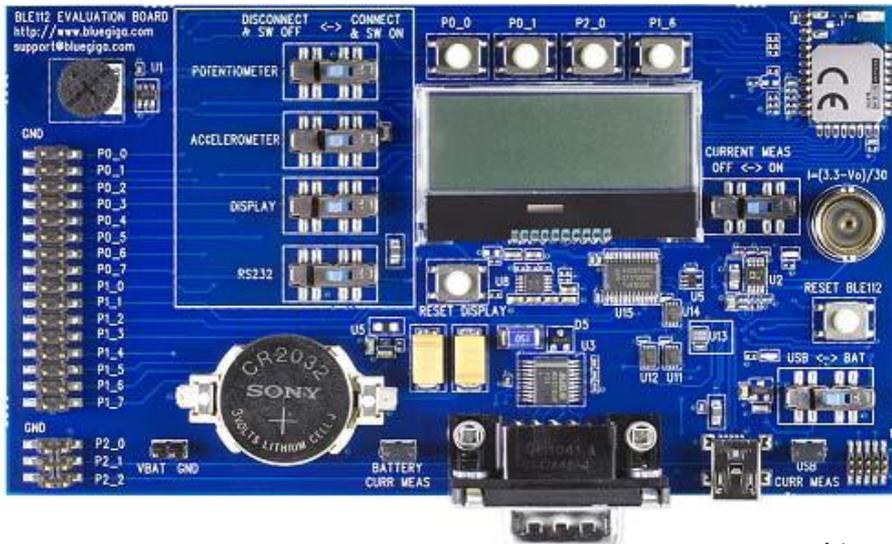
Основные аргументы при выборе модулей BLE 112 Bluegiga:

- Наличие стека программного обеспечения Bluetooth LE, использующего средства BG Profile Toolkit и BG Script. Эти программные средства позволяют разработчикам, не имеющим опыта работы с программированием Bluetooth-модулей, быстро создавать исходные тексты управляющих программ в форматах XML (Xtensible Markup Language) и BG Script (скриптовый язык Bluegiga).



В состав программного обеспечения входит компилятор, позволяющий преобразовывать xml-файлы в загружаемые hex-файлы.

Аппаратные средства на базе модуля BLE112, использовавшиеся для организации беспроводной сети



- Наличие в номенклатуре модулей модема BLE112, выполненного в виде полностью законченного устройства с разъемом USB;
- Наличие отладочной платы BLE112 Development Kit (DKBLE112), выполненной на базе модуля BLE112, имеющей несколько интерфейсов для сопряжения с компьютером и дополнительную периферию, которая может быть полезна при проведении исследований и уточнения последовательности действий при установлении соединения и обмене сообщениями.

Основные технические характеристики модуля Bluegiga BLE112

Характеристики	Значение
Чувствительность приемника, дБм	от -87 до -93
Мощность передатчика, дБм	от +3 до -23
Дальность действия, м	до 150
Напряжение питания модуля, В	2-3,6
Потребляемый ток в режиме передачи (0 дБм), мА в режиме ожидания, мкА	27 0,4
Размер, мм	18,10 x12,05 x 2,3
Встроенный стек протоколов Bluetooth BLE	да
Поддержка ролей master и slave	да
Число одновременных соединений в режиме master	4+

Для изучения порядка подключения Bluetooth устройств и обмена данными между ними была реализована простейшая беспроводная сеть, состоящая из двух модемов BLE112 и отладочной платы DKBLE112.

Результаты исследований характеристик беспроводной сети на базе модулей Bluegiga BLE112

Максимальное число байт данных, которое принимается сканером при приеме запроса на передачу сообщения составляет 31 байт. Данного количества байт вполне достаточно для передачи в информационной части запроса кода типа запроса, номера подсети запрашивающего устройства и адреса узла назначения.

Пропускная способность оценивалась при выполнении команд `attclient_read_by_handle` и `attclient_read_long`. Шифрование не использовалось.

На пропускную способность существенное влияние оказывает значение параметра `Conn_Interval_Min`, который задает значение интервала соединения и определяет, насколько часто может производиться обмен данными между устройствами. Для повышения пропускной способности значение параметра `Conn_Interval_Min` устанавливалось равным минимально допустимому значению 7,5 мс.

В результате проведенных экспериментов было определено, что максимальная пропускная способность составляет порядка 10 - 12 Кбит/с. Отметим, что данной пропускной способности недостаточно для передачи голосовых сообщений без компрессии.

Выводы

- Предложенное архитектурное решение беспроводной сети позволяет обеспечить произвольное направление передачи сообщений в сети с учетом ретрансляции на значительные расстояния при условии перекрытия пределов досягаемости отдельных подсетей. Все узлы сети равнозначны (однородная сеть).
- Сеть будет самоорганизующейся без статических маршрутов передачи сообщений.
- Сеть может быть организована на базе модулей Bluegiga BLE112.
- Максимальная пропускная способность сети на базе модулей Bluegiga BLE112 составляет порядка 10 - 12 Кбит/с.

Спасибо за внимание!