# Состав и топология сети

Протокол беспроводной передачи показаний с приборов учёта теплоэнергии (далее Протокол) предназначен для построения беспроводных сенсорных сетей с произвольным размещением узлов сети.

Состав сети:

Устройства, работающие на базе Протокола, в процессе взаимодействия между собой образуют сеть с древовидной топологией. Сеть состоит из 3 типов узлов:

1. Роутер
2. Роутер-шлюз
3. Оконечное устройство

*Роутер –* промежуточный узел сети, выполняющий функции оконечного устройства и ретранслятора одновременно. Переправляет полученные пакеты узлу-получателю или следующему узлу, через которого лежит путь к получателю.

*Роутер-шлюз* – корневой узел сети, от которого строится сеть. Агрегирует полученные от устройств сети данные и направляет их на сервер через IP-шлюз. Инициирует процедуры построения сети и сбора данных с устройств сети.

*Оконечное устройство* – узел сети, функции которого ограничены передачей данных с датчиков (приложений), по запросу.

**Типы узлов сети**

Рисунок 1. Пример топологии сети, построенной на базе Протокола.

Роутер-шлюз

Роутер

Оконечное устройство

# Особенности сети Протокола

Сеть, построенная на базе Протокола, имеет следующие ключевые свойства:

1. Способность к самоорганизации – до начала построения сети каждый устройство имеет неопределённый статус. В ходе процесса построения сети устройство, на основании данных, полученных от соседних устройств и своего местоположения относительно них, выбирает себе роутер и вещает в сеть о своём решении. На основании данного решения соседние устройства проделывают аналогичную операцию. В процессе работы каждое устройство сети сохраняет памяти сведения о местоположении устройств, пакеты от которых он переправляет своему роутеру или устройству. При изменении топологии сети или условий передачи (роста уровня помех, отказа устройства, перемещении устройства), на данном участке сети устройства попытаются использовать альтернативный роутер, если это не сработает, то роутер-шлюз инициирует перестроение сети.

Узлы после процедуры построения сети

Узлы до начала построения сети

Неопределенное устройство

Оконечное устройство

Роутер

Роутер-шлюз

Направления передачи данных (зона прямой радиовидимости)

**Способность устройств сети к самоорганизации при их подключении**

Рисунок 2 Пример самоорганизации сети при её первичной инициализации.

**Автоматическая перестройка сети при отказе узла.**

Неактивный узел

Оконечное устройство

Роутер

Выход из строя роутера

Роутер-шлюз

Направления передачи данных (зона прямой радиовидимости)

Рисунок 3. Пример самоорганизации устройств сети, в случае отказа одного из узлов.

1. Использование сообщений, поступающих от соседних узлов в качестве квитанции о доставке сообщений – сообщения по сети передаются эстафетным способом от узла отправителя до узла получателя. На каждом звене передачи устройства убеждаются в успешном приёме сообщения следующим узлом путём приёма сообщения, которое следующий узел отправит дальше по цепочке. Это возможно благодаря тому, что несущий сообщение радиосигнал, излучаемый в эфир, может быть принят любым устройством, находящимся в зоне прямой радиовидимости.

Отправка сообщения в радиоэфир



Приём сообщения с соседнего узла и регистрация доставки отправленного сообщения

Игнорирование сообщения

Приём сообщения для ретрансляции

Роутеры, через которые лежит путь сообщения

Оконечные устройства

Роутер-шлюз



Рисунок 4. Схема передачи сообщения по сети и использование передаваемого ретранслируемого сообщения как квитанцию о доставке сообщения соседнему узлу.

# Структура пакетов протокола

Протокол подразумевает 7 основных типов пакетов. Пакет состоит из заголовка и полезной нагрузки. Заголовок имеет фиксированную длину – 28 байт. Структура заголовка едина для всех пакетов, передаваемых по сети. Каждому типу пакета соответствует определённый набор значений служебных полей, содержащихся в заголовке.

Под полезной нагрузкой подразумевается область пакета, содержащая пользовательские данные. Пользовательские данные – это сведения, которые протокол не использует для продвижения пакетов по сети. В качестве пользователей сети могут выступать как сторонние сервисы (например сервис сбора данных о температуре теплоносителей), так и внутренние сервисы, поддерживающие работу самой сети (например сервис маршрутизации). Длинна полезной нагрузки может варьироваться от 0 до 99 байт. Максимальная длинна пакета – 128 байт.

## Структура заголовка

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *№ байта* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| № поля | **1** | **2** | **3** | | | | **4** | | | | **5** | | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | | | | **13** | | | | **14** | |

## Описание полей:

1. **Начало пакета** – первый байт пакета содержит символ $ (0x24);
2. **Тип пакета** – содержит код, который однозначно определяет тип пакета. В зависимости от типа пакета принимает значения 0-6 (0x00 – 0x06);
3. **Адрес узла отправителя** – содержит адрес узла отправителя, состоящий из 4 байт.
4. **Адрес узла получателя** – содержит адрес узла получателя, состоящий из 4 байт.
5. **Время** – содержит текущее время от начала сеанса связи в квантах.
6. **Уровень** – Порядковый номер роутера, относительно шлюза. Роутеры находятся на одном уровне, если число узлов, вдоль которых лежит путь сообщения от указанных роутеров до роутера-шлюза одинаково.
7. **Сессия** – содержит код сессии. Под сессией понимается процесс функционирования сети, от начала построения сети, до её перестроения**.** Перестройка сети происходит в двух случаях: принудительно или при повторном включении питания роутера-шлюза. В течении одной сессии значение соответствующего поля в заголовке пакетов остаётся неизменным.
8. **Сеанс** – содержит код сеанса. Под сеансом подразумевается процесс опроса сети на предмет полезных данных (данные с датчиков или результаты работы приложений устройств сети). Код представляет собой порядковый номер процесса опроса сети на предмет полезных данных и служит для сбора статистики.
9. **Роль модуля** – содержит код, определяющий роль устройства, передающего пакет (“0x01” -роутер, “0x02” - альтернативный роутер,”0x00” – оконечное устройство).
10. **Номер пакета** – содержит порядковый номер пакета, позволяющий отбрасывать свои пакеты при широковещательной рассылке команды на сбор данных с устройств сети. Пакеты типа “00” –“Я потенциальный номер всегда имеют номер “0x00”, все последующие пакеты генерируются с номером на 1 больше предыдущего. При смене сессии нумерация пакетов начинается заново.
11. **TTL –** значение счётчика жизни пакета. Может использоваться для определения направления движения пакета
12. **Адрес следующего промежуточного узла получателя** – содержит адрес узла, находящегося в зоне радиовидимости, который является получателем или промежуточным узлом на пути к получателю. Состоит из 4 байт.
13. **Адрес предыдущего промежуточного узла отправителя** – содержит адрес промежуточного узла, от которого поступил пакет. Необходим для подтверждения предыдущим узлом факта получения пакета. Состоит из 4 байт.
14. **Резерв** – резервное поле.

## Типы пакетов

1. “Я потенциальный роутер”

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *№ байта* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| № поля | **$** | **00** | **<адрес потенциального роутера>** | | | | **00 00 00 00** | | | | **<время отправки>** | | **<уровень>** | **<сессия>** | **00** | **<роль модуля>** | **00** | **01** | **55 55 55 55** | | | | **00 00 00 00** | | | | **55 55** | | **#** |

**$** - начало пакета

**<адрес потенциального роутера> -** устройство, которое хочет объявить себя роутером формирует пакет 00 –“Я потенциальный роутер” и помещает в поле 3 - “адрес узла отправителя” свой адрес.

**<время отправки>** - время отправки в квантах. Каждый потенциальный роутер при первичной отправке данного пакета сбрасывает значение данного поля.

**<уровень>** - В пакете типа 00 -“Я потенциальный роутер” помещается значение уровня. Уровень определяется исходя из значения, которое потенциальный роутер получил от устройства, которое ранее потенциальный роутер выбрал в качестве своего роутера.

**<сессия>** - номер сессии. Присваивается при инициации процедуры построения или перестроения сети.

**<роль модуля>** - код роли модуля. В пакете типа 00 - “Я потенциальный роутер” может принимать только значения 0x00 и 0x01. Значение 0x01 соответствует роли “роутер”, 0x00 – роли “устройство”. В данном типе пакета значение “0x01” может помещаться только исходным роутером-шлюзом, поскольку его роль всегда “роутер”. В остальных случаях потенциальные роутеры по умолчанию имеют роль “устройство” в данном пакете.

**# -** конец пакета

Пакет типа “00” - “Я потенциальный роутер” состоит только из заголовка и символа конца пакета – ‘#’.

1. “Я - узел”

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Заголовок пакета* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *№ байта* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| № поля | **$** | **01** | **<адрес узла>** | | | | **00 00 00 00** | | | | **<время отправки>** | | **<уровень>** | **<сессия>** | **00** | **00** | **<№ пакета>** | **01** | **55 55 55 55** | | | | **00 00 00 00** | | | | **55 55** | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Полезная нагрузка пакета* | | | | | | | | | | |
| *№ байта* | *29* | *30* | *31* | *32* | *33* | *34* | *35* | *36* | *……….* | *N < = 128* |
| № поля | **<адрес потенциального роутера 1>** | | | | **<адрес потенциального роутера 2>** | | | | **<адреса других обнаруженных потенциальных роутеров>** | **#** |

**$** - начало пакета

**<адрес узла> -** устройство в ответ на пакет 00 - “Я потенциальный роутер” (0x00) формирует пакет 01 -“Я узел” (0x01) и помещает в поле 3 - “адрес узла отправителя” свой адрес.

**<время отправки>** - время отправки в секундах. За основу берётся время, полученное с прошлого пакета. Пред отправкой его увеличивают время, которое прошло между получением последнего пакета и отправкой ответного пакета.

**<уровень>** -уровень определяется исходя из значения, которое устройство получило от потенциального роутера. Определяет удалённость узла от Роутера-шлюза.

**<сессия>** - номер сессии определяется из соответствующего поля входящего пакета 00 - “Я потенциальный роутер” (0x00).

**<№ пакета>** - номер пакета устанавливается относительно номера последнего отправленного пакета. При отправке пакета 00 – “Я потенциальный роутер” номер сбрасывается.

**<адрес потенциального роутера>** - помещает адреса устройств, от которых получил пакет 00 - “Я потенциальный роутер” (0x00). В зависимости от числа пакетов, принятых от разных роутеров число полей с адресами, занимающих пространство полезной нагрузки пакетов, может варьироваться от 1 до 24. Т.е. теоретически один узел может уведомить соседние устройства о наличии прямого соединения 24 потенциальными роутерами.

**# -** конец пакета

1. “Я выбрал роутер”

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Заголовок пакета* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *№ байта* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| № поля | **$** | **02** | **<адрес узла>** | | | | **00 00 00 00** | | | | **<время отправки>** | | **<уровень>** | **<сессия>** | **00** | **00** | **<№ пакета>** | **01** | **55 55 55 55** | | | | **00 00 00 00** | | | | **55 55** | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Полезная нагрузка пакета* | | | | | | | | | |
| *№ байта* | *29* | *30* | *31* | *32* | *33* | *34* | *35* | *36* | *37* |
| № поля | **<адрес основного роутера>** | | | | **<адрес резервного роутера>** | | | | **#** |

**$** - начало пакета

**<адрес узла> -** устройство формирует пакет 02 - “Я выбрал роутер” (0x02) и помещает в поле 3 “адрес узла отправителя” свой адрес.

**<время отправки>** - время отправки в секундах. За основу берётся время, полученное с прошлого пакета. Пред отправкой его увеличивают время, которое прошло между получением последнего пакета и отправкой ответного пакета.

**<уровень>** - уровень определяется исходя из значения, которое устройство получило от потенциального роутера.

**<сессия>** - номер сессии определяется из соответствующего поля входящего пакета 00 - “Я потенциальный роутер” (0x00).

**<№ пакета>** - номер пакета устанавливается относительно номера последнего отправленного пакета. При отправке пакета 00 – “Я потенциальный роутер” номер сбрасывается.

**<адрес основного роутера>** - помещает адрес устройства, которое узел выбрал себе в качестве основного роутера. Именно по этому адресу в дальнейшем будут отправляться пакеты от своих оконечных устройств и низлежащих роутеров.

**<адрес резервного роутера>** - помещает адрес устройства, которое узел выбрал себе в качестве резервного роутера. На данный адрес будут отправляться пакеты, которые должны были быть отправлены на основной роутер, в случае если устройство потеряет связь с основным роутером (например, не принял сообщение от следующего роутера, который отправляет сообщение вверх следующему роутеру). В том случае, если резервный роутер не может выбрать резервный роутер (это возможно, когда устройство приняло сообщение только от одного потенциального роутера, и выбрать резервный), данное поле заполняется балластом типа “00 00 00 00".

**# -** конец пакета.

Пакет 02 - “Я выбрал роутер” в силу своей специфики имеет фиксированный размер пакета в 37 байт, полезная нагрузка которого занимает 9 байт.

1. “Я роутер”

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Заголовок пакета* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *№ байта* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| № поля | **$** | **03** | **<адрес роутера>** | | | | **00 00 00 00** | | | | **<время отправки>** | | **<уровень>** | **<сессия>** | **00** | **01** | **<№ пакета>** | **01** | **55 55 55 55** | | | | **00 00 00 00** | | | | **55 55** | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Полезная нагрузка пакета* | | | | | | | | | | |
| *№ байта* | *29* | *30* | *31* | *32* | *33* | *34* | *35* | *36* | *……….* | *N < = 128* |
| № поля | **<адрес оконечного устройства 1>** | | | | **<адрес оконечного устройства 2>** | | | | **<адреса других оконечных устройств, которые выбрали данный узел в качестве своего роутера>** | **#** |

**$** - начало пакета

**<адрес роутера> -** устройство, которое другие устройства выбрали в качестве роутера, объявляет в сеть о том, что он теперь роутер, отправляя в сеть пакет 03 – “Я роутер”. В поле заголовка 3 - адрес узла отправителя он помещает свой адрес.

**<время отправки>** - время отправки в секундах. За основу берётся время, полученное с прошлого пакета. Пред отправкой его увеличивают время, которое прошло между получением последнего пакета и отправкой ответного пакета, либо на промежуток времени между приёмом и отправкой ретранслируемого пакета.

**<уровень>** - уровень был получен роутером от роутера более высокого уровня, на этапе, когда данный узел выбирал свой роутер. Исключением является роутер-шлюз, который по умолчанию имеет уровень 0.

**<сессия>** - номер сессии был получен аналогично уровню.

**<№ пакета>** - номер пакета устанавливается относительно номера последнего отправленного пакета. Исключением из данного правила является пакет типа 00– “Я потенциальный роутер”. Он всегда имеет значение 00. От него начинается счёт пакетов.

**<адрес оконечного устройства>** - помещает адреса узлов, от которых он получил пакет 02 – “Я выбрал роутер”, где в полезной нагрузке был указан его адрес, как адрес основного роутера.

**# -** конец пакета

1. “Опрос устройств”

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Заголовок пакета* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *№ байта* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| № поля | **$** | **04** | **00 00 00 00** | | | | **<адрес роутера- шлюза>** | | | | **<время отправки>** | | **00** | **<сессия>** | **<сеанс>** | **00** | **<№ пакета>** | **1e** | **ff ff ff ff** | | | | **00 00 00 00** | | | | **55 55** | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Полезная нагрузка пакета* | | | | | | | | | | |
| *№ байта* | *29* | *30* | *31* | *32* | *33* | *34* | *35* | *36* | *……….* | *N < = 128* |
| № поля | **<адрес подчинённого устройства 1>** | | | | **<адрес подчинённого устройства 2>** | | | | **<адреса других подчинённых устройств, которые выбрали данный узел в качестве своего роутера>** | **#** |

**$** - начало пакета

**<время отправки>** - время отправки в секундах. За основу берётся время, полученное с прошлого пакета. Пред отправкой его увеличивают время, которое прошло между получением последнего пакета и отправкой ответного пакета.

**<сессия>** - номер сессии присваивается при инициализации сети. Смена номера сессии, говорит устройству, что необходимо заново определить свою роль в сети и заново провести операции по построению сети.

**<сеанс> -** помещается номер сеанса связи. Номер сеанса меняется при инициации роутером шлюзом очередного опроса сети.

**<№ пакета>** - номер пакета устанавливается относительно номера последнего отправленного пакета. Исключением из данного правила является пакет типа 00– “Я потенциальный роутер”. Он всегда имеет значение 00. От него начинается счёт пакетов.

**<адрес оконечного устройства>** - помещает адреса своих оконечных (низлежащих) устройств.

**# -** конец пакета

1. “Ответ от устройства UNO”

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Заголовок пакета* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *№ байта* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| № поля | **$** | **05** | **<адрес оконечного устройства>** | | | | **<адрес роутера>** | | | | **<время отправки>** | | **<уровень>** | **<сессия>** | **<сеанс>** | **00** | **<№ пакета>** | **01** | **55 55 55 55** | | | | **00 00 00 00** | | | | **55 55** | |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Полезная нагрузка пакета* | | | |
| *№ байта* | *29* | *……….* | *N < = 128* |
| № поля | **<Данные от устройства (приложения)>** | | **#** |

**$** - начало пакета

**<адрес оконечного устройства>** - адрес устройства, которое сформировало и отправила пакет в сеть.

**<адрес роутера>** - адрес роутера, которому предназначен пакет. Оконечное устройство отправляет пакет 05 “ Ответ от устройства UNO” только тому устройству, которое приходится ему основным или резервным роутером.

**<время отправки>** - время отправки в секундах. За основу берётся время, полученное с прошлого пакета. Пред отправкой его увеличивают время, которое прошло между получением последнего пакета и отправкой ответного пакета.

**<уровень>** - уровень, на котором располагается устройство.

**<сессия>** - номер сессии присваивается при инициализации сети. Смена номера сессии, говорит устройству, что необходимо заново определить свою роль в сети и заново провести операции по построению сети.

**<сеанс> -** помещается номер сеанса связи. Номер сеанса меняется при инициации роутером шлюзом очередного опроса сети.

**<№ пакета>** - номер пакета устанавливается относительно номера последнего отправленного пакета. Исключением из данного правила является пакет типа 00– “Я потенциальный роутер”. Он всегда имеет значение 00. От него начинается счёт пакетов.

**<Данные от устройства (приложения)>** - приложение на устройстве либо вспомогательное устройство, подключенное к устройству – узлу сети, помещает в данное поле свои данные, которые адресованы роутеру шлюзу

**# -** конец пакета

1. “Ответ от роутера MANY“

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Заголовок пакета* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| *№ байта* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| № поля | **$** | **06** | **<адрес исходного отправителя>** | | | | **<адрес конечного получателя>** | | | | **<время отправки>** | | **<уровень>** | **<сессия>** | **<сеанс>** | **01 (02)** | **<№ пакета>** | **01** | **<Адрес следующего роутера>** | | | | **<Адрес предыдущего роутера>** | | | | **55 55** | |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Полезная нагрузка пакета* | | | |
| *№ байта* | *29* | *……….* | *N < = 128* |
| № поля | **<Данные от устройств>** | | **#** |

**$** - начало пакета

**<адрес исходного отправителя>** - адрес роутера, сформировавшего пакет MANY.

**<адрес конечного получателя>** - адрес роутера шлюза.

**<время отправки>** - время отправки в секундах. За основу берётся время, полученное с прошлого пакета. Пред отправкой его увеличивают время, которое прошло между получением последнего пакета и отправкой ответного пакета.

**<уровень>** - уровень, на котором располагается устройство.

**<сессия>** - номер сессии присваивается при инициализации сети. Смена номера сессии, говорит устройству, что необходимо заново определить свою роль в сети и заново провести операции по построению сети.

**<сеанс> -** помещается номер сеанса связи. Номер сеанса меняется при инициации роутером шлюзом очередного опроса сети.

**<№ пакета>** - номер пакета устанавливается относительно номера последнего отправленного пакета. Исключением из данного правила является пакет типа 00 – “Я потенциальный роутер”. Он всегда имеет значение 00. От него начинается счёт пакетов.

**<Данные от устройств>** - роутер при в ответ на отправленный пакет 04 – “Опрос устройств”, принимает от своих устройств сообщения 05 –“ Ответ от устройства UNO”. Из них он вытаскивает данные полезной нагрузки и последовательно помещает в полезную нагрузку своего пакета 06 -“ Ответ от роутера MANY” данные из полученного пакета в формате *адрес устройства + данные.*

**# -** конец пакета.

# Описание работы протокола

Работу протокола можно разделить на два этапа: построение сети и передача данных.

## Этап построения сети

На первом этапе размещённые случайным образом устройства выстраиваются в топологию типа “дерево”. Отправной точкой построения сети является устройство, которое носит название “Роутер-шлюз”. Ключевая отличительная особенность данного устройства – заранее предустановленные параметры. Таким образом необходимое условие работы механизма самоорганизации беспроводной сети, работающей на базе Протокола, является наличие одного устройства с предустановленной ролью “Роутер”. Остальные устройства до начала построения сети имеют роль “Оконечное устройство” и находятся в состоянии “Сон”. Состояние “Сон” — это такой режим работы устройства, при котором оно ничего не вещает в сеть, до момента поступления на него специального пакета. До этого момента устройство только прослушивает эфир.

На рамках построения сети каждое устройство, за исключением шлюза, проходит две стадии построения сети. На первой из них устройство определяет свой основной и резервный роутеры. На второй стадии устройство определяет свою роль в сети.

?

Потенциальный роутер 1

Потенциальный роутер 2

Неопределённое устройство (сон)

Неопределённое устройство (сон)

2. Определение основного и резервного роутеров

1. Объявление себя Потенциальным роутером

2.Ожидание решений устройств относительно выбора его роутером

1. Пробуждение путём приёма пакетов от потенциального роутеров

I

II

Устройство

Рисунок 5. Стадии, на которые разделён этап работы протокола по построению сети.

На этапе построения сети два устройства общаются друг с другом, находясь при этом на различных стадиях этапа построения сети. При этом каждое устройство на протяжении всего этапа проходит обе стадии.

II

I

II

I

Неопределённые “пробуждённые”

устройства

Потенциальный роутер

Стадии этапа построения сети (выполняется 2 стадия)

II

I

Стадии этапа построения сети (выполняется 1 стадия)

II

I

Рисунок 6. Соотношение стадий построения сети потенциального роутера и неопределённого устройства.

Процесс построения сети начинается с отправки потенциальным роутером в эфир пакета типа 00 – “Я потенциальный роутер”. Устройства, расположенные в зоне прямой радиовидимости и имеющие статус неопределённости, принимают данный пакет и регистрируют потенциальный роутер в специальных списках путём создания записи, состоящей из адреса и счётчика. Счётчик представляет собой переменную, которая хранит число соседних устройств, находящихся в зоне прямой радиовидимости относительно данного потенциального роутера. Регистрация потенциальных роутеров происходит только на основании пакета 00 – “Я потенциальный роутер”.

Рисунок 7 Отправка потенциальным роутером пакета 00-"Я потенциальный роутер".

**запись 1**

Список потенциальных роутеров

Запись

**адрес потенциального роутера**

**Счётчик устройств**

(кол-во соседей в зоне радиовидимости потенциального роутера)

Пакет 00 – “Я потенциальный роутер”

Неопределённые устройства (состояние “Сон”)

Потенциальный роутер

Отправка пакета в эфир

В ответ на пакет 00 – “Я потенциальный роутер” устройство формирует пакет типа 01- “Я узел”, в поле полезной нагрузки которого помещает адреса потенциальных роутеров, от которых ранее был принят пакет типа 00 – “Я потенциальный роутер”. На первом этапе, когда в качестве потенциального роутера выступает роутер-шлюз, устройство поместит только адрес роутера-шлюза. Сформированный пакет отправляется в радиоэфир.

Соседние устройства, за исключением потенциальных роутеров, принимают данный пакет и извлекают из него адреса потенциальных роутеров. Каждое из них производит поиск записей, содержащих данные адреса в своих списках. Если такие записи будут найдены, то значение счётчика устройств в этих записях инкрементируется.

Рисунок 8. Отправка устройством пакета 01-"Я узел".

пот. роутер 2

пот. роутер 1

**запись 1**

Список потенциальных роутеров

Адрес пот. Роутера 1

Счётчик: 1

**запись 2**

Адрес пот. Роутера 2

Счётчик: 1

Пакет 01 – “Я узел”

**запись 1**

Список потенциальных роутеров

**запись 2**

Адрес пот. Роутера 1

Счётчик: 2

Адрес пот. Роутера 2

Счётчик: 2

**запись 1**

Список потенциальных роутеров

**запись 2**

Адрес пот. Роутера 1

Счётчик: 2

Адрес пот. Роутера 2

Счётчик: 2

**запись 1**

Список потенциальных роутеров

Адрес пот. Роутера 1

Счётчик: 2

**запись 2**

Адрес пот. Роутера 2

Счётчик: 2

Неопределённые “пробуждённые”

устройства

Потенциальный роутер

Отправка пакета в эфир

Приём и обработка пакета

Приём и отбрасывание пакета

Через некоторый промежуток времени (предполагается, что все соседние устройства уже “пробудились”, получив пакет 00 – “Я потенциальный роутер”, и заявили о себе и своём местоположении в сети относительно одного из ближайших потенциальных роутеров путём отправки в радиоэфир пакета 01-“Я узел”) каждое “пробудившееся” устройство анализирует свои записи с целью определить основной и резервный роутер. Выбор производится на основании 2 параметров:

1. Количество соседних устройств, находящихся в зоне радиовидимости данного роутера;
2. Уровень принимаемого сигнала (RSSI).

При наличии в списке потенциальных роутеров устройства двух и более записей, основным роутером будет выбран тот потенциальный роутер, в область радиовидимости которого входит наибольшее количество соседних устройств. Количество соседних устройств, входящих в зону радиовидимости потенциального роутера, хранится в специальной переменной-счётчике. Она является частью записи списка потенциальных роутеров.

пот. роутер 2

пот. роутер 1

**запись 1**

Список потенциальных роутеров

Адрес пот. Роутера 1

Счётчик: 4

**запись 2**

Адрес пот. Роутера 2

Счётчик: 4

**запись 1**

Список потенциальных роутеров

Адрес пот. Роутера 2

Счётчик: 3

**запись 1**

Список потенциальных роутеров

Адрес пот. Роутера 1

Счётчик: 4

**запись 2**

Адрес пот. Роутера 2

Счётчик: 3

Неопределённые “пробуждённые”

устройства

Потенциальный роутер

Область радиосвязи потенциального роутера 2

Область радиосвязи потенциального роутера 1

Выбор устройством потенциального роутера в качестве своего роутера

Рисунок 9. Выбор устройством роутера.

В случае, если два потенциальных роутера имеют равное количество устройств, то выбор падёт на тот потенциальный роутер, уровень сигнала (RSSI) от которого имеет наименьшее значение в пределах некоторого разумного порога (для каждого приёмопередатчика данный параметр будет разным, в зависимости от чувствительности приёмника). Данное решение позволяет в ряде случаев сократить число сеансов радиовещания устройств, путём сокращения количества промежуточных узлов передачи пакета по сети.

RSSI\_1= -50 дБм

**Логика выбора роутера:**

*шаг 1.*

Счётчик 1 = Счётчик 2 невозможно выбрать роутер. Переход к шагу 2.

*шаг 2.*

RSSI\_1 > RSSI\_2 Потенциальный роутер 1 будет выбран в качестве **основного роутера**. Потенциальный роутер 2 – в качестве резервного.

Пот. роутер 2

RSSI\_2= -100 дБм

Роутер-шлюз

Пот. роутер 1

**запись 1**

Список потенциальных роутеров

Адрес пот. Роутера 1

Счётчик: 3

**запись 2**

Адрес пот. Роутера 2

Счётчик: 3

Неопределённые “пробуждённые”

устройства

Потенциальный роутер

Область радиосвязи потенциального роутера 2

Область радиосвязи потенциального роутера 1

Рисунок 10. Выбор роутера на основании RSSI.

После того, как основной роутер определён, устройство приступает к выбору резервного роутера. Процедура выбора резервного роутера из числа потенциальных, производится аналогичным образом, что и выбор основного.

Определив для себя основной и резервный роутеры, устройство помещает их адреса в полезную нагрузку пакета 02 – “Я выбрал роутер” и отправляет этот пакет в эфир.

Данный пакет принимается и обрабатывается всеми потенциальными роутерами, находящимися в зоне радио досягаемости. Если в полезной нагрузке потенциальный роутер обнаружит свой адрес, то устройство, отправившее этот пакет, будет добавлено в списки подчинённых устройств роутера. Потенциальный роутер имеет два списка подчинённых устройств:

1. Список подчинённых устройств, которые выбрали данный потенциальный роутер в качестве основного роутера;
2. Список подчинённых устройств, которые выбрали данный потенциальный роутер в качестве резервного роутера.

Рисунок 11. Обработка пакета 02-"Я выбрал роутер", сформированный устройством, потенциальными роутерами путём добавления адреса устройства в свои таблицы.

пот. роутер 1

Список подчинённых устройств резерва

*Адр. осн. роутера*

*Адр. рез. роутера*

Список подчинённых устройств

Адрес подчинённого устройства 1

Адрес подчинённого устройства 2

Адрес подчинённого устройства N

…

Адрес подчинённого рез. устройства 1

Адрес подчинённого рез. устройства 2

Адрес подчинённого рез. устройства N

…

**Заголовок**

Пакет 02 – “Я выбрал роутер”

пот. роутер 2

Неопределённые “пробуждённые”

устройства

Потенциальный роутер

Отправка пакета в эфир

Приём и обработка пакета

Приём и отбрасывание пакета

В зависимости от того, в каком поле пакета 02 – “Я выбрал узел”, потенциальный роутер обнаружит свой адрес, в соответствующий список и будет помещён адрес устройства, отправившего пакет. В случае, если устройство при формировании пакета 02 – “Я выбрал узел” содержит только адрес одного потенциального роутера, то в поле полезной нагрузки пакета на месте адреса резервного роутера будет записан балласт (00 00 00 00).

После некоторого промежутка времени ожидания (устанавливается опционально) потенциальный роутер, формирует пакет 03 – “Я роутер”, в полезную нагрузку которого помещает адреса всех устройств, от которых он получил пакет 02 – “Я выбрал роутер” со своим адресом в соответствующем поле (*<адрес основного роутера>*). Данные для пакета берутся из “списка подчинённых устройств”. Сформированный пакет потенциальный роутер вещает в эфир. С его помощью устройства определяют, был ли доставлен их пакет 02 – “Я выбрал роутер” потенциальному роутеру-получателю.

В случае, если по каким-либо причинам пакет 02 – “Я выбрал роутер” не был доставлен до потенциального роутера, то устройство это обнаружит, обработав пакет 03 – “Я роутер” (в нём не будет его адреса). После этого будет предпринята повторная попытка отправки недоставленного пакета. По умолчанию число повторных отправок – 2. Через некоторое время потенциальный роутер повторно сформирует и отправит в эфир пакет 03 – “Я роутер”, на основании которого устройство сможет определить успешно ли был передан повторный пакет 02 – “Я выбрал роутер”.

Список подчинённых устройств

Адрес подчинённого устройства 1

Адрес подчинённого устройства 2

Адрес подчинённого устройства N

…

**пот. роутер 2**

**пот. роутер 1**

Неопределённые “пробуждённые”

устройства

Потенциальный роутер

Отправка пакета в эфир

Приём и обработка пакета

Приём и отбрасывание пакета

Пакет 03 – “Я роутер”

*Адрес Устр-ва 1*

*Адрес Устр-ва 2*

**Заголовок**

*Адрес Устр-ва N*

*…*

Рисунок 12. Формирование и отправка потенциальным роутером пакета 03-"Я роутер"

После того, как потенциальный роутер, отправил в эфир установленное количество раз пакет 03 – “Я роутер”, процесс построения сети для данного устройства завершается. Роль устройства сменяется с “Оконечного устройства” на “Роутер”.

С этого момента роутер готов собирать данные со своих подчинённых устройств и отправлять их роутеру шлюзу, а также продвигать пакеты по сети через себя от других роутеров.

Таким образом устройство, которое рассматривалось в качестве потенциального роутера завершает процесс построения сети и переходит в рабочий режим, ожидая пакеты 04-“Опрос устройств”, 05-“Ответ от устройства UNO”, 06-“Ответ от роутера MANY”, а также пакет 00-“Я потенциальный роутер” с номером сессии отличном от сохранённого в устройстве. Последний пакет даёт команду устройству заново инициировать процесс построения сети на своём участке. Все остальные пакеты игнорируются.

В то же время его подчинённые устройства, переходят ко второй стадии построения сети на своём участке и объявляют себя потенциальными роутерами. Последовательность действий новых потенциальных роутеров идентична той, что выполнялась их роутерами ранее.

По результатам второй стадии потенциальные роутеры либо примут роль роутера, либо останутся оконечными устройствами. Необходимым условием установления роли роутера является наличие хотя бы одного устройства, которое объявит потенциальный роутер своим роутером. Если этого не происходит, то в данном направлении сеть замыкается, а потенциальный роутер утверждается в роли “оконечного устройства”.