

На правах рукописи

Лебедь Юрий Александрович

**САМООРГАНИЗУЮЩАЯСЯ СЕТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ  
НА ОСНОВЕ МОДУЛЕЙ С ЛЧМ МОДУЛЯЦИЕЙ**

специальность 1-39 80 02 Радиотехника, в том числе системы и устройства  
радионавигации, радиолокации и телевидения

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание степени  
магистра технических наук

Минск 2019

**Сети и сетевые технологии** являются в настоящее время обязательным элементом любой промышленной или бытовой инфраструктуры. Они обеспечивают непрерывное взаимодействие пользователей и различных объектов друг с другом в едином информационном пространстве (Интернет вещей).

Информационные сети в современном понимании начинались с проводных технологий. Важным этапом было внедрение беспроводных решений, позволивших обеспечить мобильность пользователей. Но классические проводные и беспроводные сети обязательно строятся вокруг специализированной сетевой инфраструктуры, без которой они не могут функционировать. Развитие технологий беспроводной передачи данных постепенно поставило вопрос о самоорганизующихся сетях, которым была бы не нужна опорная инфраструктура.

Большинство из современных самоорганизующихся сетей строятся на основе уже существующих технологий беспроводного доступа, таких как Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee и др. В зависимости от назначения такой сети.

На рисунке 1 представлено сравнение некоторых технологий доступа по максимально доступной полосе пропускания. Из рисунка видно, что расширение полосы пропускания приводит к большему энергопотреблению устройств используемых в самоорганизующихся сетях.

На рисунке 2 представлено сравнение технологий доступа по требуемым источникам питания для их работы.

**Для создания самоорганизующейся сети** было решено применить приемопередающие модули, использующие модуляцию LoRa, ключевой особенностью которой является высокая чувствительность. Данный способ модуляции предполагает использование технологии расширения спектра, при которой данные кодируются широкополосными ЛЧМ-импульсами с частотой, увеличивающейся или уменьшающейся на некотором временном интервале. На рисунке 3 изображена зависимость чувствительности приёмников LoRa от скорости передачи данных для разных видов модуляции.

**Структура пакета LoRa изображена на рисунке 4.** Приемопередатчик LoRa использует 2 формата пакета: явный и неявный. Явный формат представляет собой информацию о полезных данных: длина полезных данных в байтах; кодовая скорость прямого исправления ошибок; наличие CRC для полезных данных.

Преамбула используется для синхронизации приемника со входным потоком данных.

**На рисунке 5 изображена структурная схема приемопередатчика LoRa.** Радиоприемный тракт выполнен по схеме с однократным квадратурным преобразованием на низкую промежуточную частоту. Принимаемый сигнал усиливается при помощи малошумящего усилителя. Далее, для устранения гармоник происходит преобразование в дифференциальную форму, затем квадратурные сигналы промежуточной частоты, полученные в смесителе, усиливаются в тракте промежуточной частоты и поступают на два сигма/дельта АЦП. Вся дальнейшая обработка (фильтрация, демодуляция и т. д.) выполняется

над сигналом, представленным в цифровом виде. Подавление зеркального канала осуществляется за счет квадратурного преобразования. **В радиопередающем тракте** сигнал гетеродина модулируется с помощью цифрового модулятора, после чего усиливается. Можно использовать один из трех усилителей мощности: первый, подключенный к выводу RFO, обеспечивает усиление до +14 дБм (20 мВт), остальные два, соединенные с PA\_Boost, при использовании рекомендованной согласующей цепи выдают до +20 дБм (100 мВт).

**б) На основе приемопередатчиков LoRa предложена структурная схема сети.** Центральная станция обеспечивает зону связи напрямую в своей зоне покрытия и через ретрансляторы за пределами своей зоны покрытия. Одной из задач ЦС является назначение активного ретранслятора. Центральная станция также предназначена для обеспечения: группового опроса конечных устройств своего объекта через БР; связи с ЦС удаленного объекта через ЛР; индивидуального вызова конечного устройства удаленного объекта через БР; связи с конечными устройствами своего объекта без участия БР. **БР обеспечивают радиосвязь** между конечными устройствами на участке одного объекта, а также радиосвязь конечных устройств с ЦС. Линейный ретранслятор обеспечивает переключение в режим организации линии связи через цепочку аналогичных ретрансляторов.

**При установлении соединения БР** автоматически сообщает ЦС параметр качества сигнала, поэтому, при нахождении абонента в зонах радиопокрытия нескольких БР одновременно, ЦС выбирает из них только одну, и дает разрешение на работу ретранслятора. Линейная связь осуществляется посредством цепочки линейных ретрансляторов ЛР и предназначена для организации связи между устройствами удаленных объектов, находящихся в зонах покрытия их ЛР.

**В системе также обеспечивается возможность использования дополнительных ретрансляторов для расширения зоны радиопокрытия ЦС объекта за пределами ее участка.**

При организации линейной радиосвязи БР, являющийся линейным, не отправляет ЦС запрос на ретрансляцию, а уведомляет ее о переходе в линейный режим работы.

Линейные ретрансляторы, предназначенные для организации линейной радиосвязи, содержат списки номеров соседних объектов с указанием частот каналов ретрансляторов.

На рисунке 2.3 показан пример расположения линейных ретрансляторов трех соседних объектов №№ 203, 102, 118, работающих на частотных каналах №№ 15, 7 и 5 соответственно.

Так как данные ЛР не находятся в зоне радиопокрытия друг друга, то необходимо установить два дополнительных ретранслятора, например, ЛР № 900 и ЛР № 901, работающие на каналах № 30 и № 31 соответственно. В зону радиопокрытия ЛР № 900 входят ЛР № 203 и ЛР № 102, в зону радиопокрытия ЛР № 901 входят ЛР № 102 и ЛР № 118. При ретрансляции данных по цепочке каждый ЛР должен иметь информацию о том, с каким конечным объектом он может осуществить связь, через какой промежуточный ретранслятор и на

каком канале это следует сделать. Данная информация представляется в виде таблицы маршрутов, содержащей номера конечных удаленных объектов и номера следующих по цепочке объектов (с указанием их рабочих частот), через которые можно установить связь с данным удаленным объектом.

**Ретранслятор (1-й в организуемой цепочке)**, получивший данные с информацией о соединении дает передающему устройству подтверждение о принятии информации и переводит приемопередатчик устройства на свой канал, после чего передает информацию о вызове 2-му на маршруте ретранслятору на его частоте согласно таблице маршрутов. Второй ретранслятор дает первому подтверждение приема данных, переводит первый ретранслятор на свой канал и передает информацию о передаче третьему ретранслятору на его частоте согласно таблице маршрутов и так далее.

Последний в маршруте ретранслятор возвращает по линии ретрансляторов подтверждение о приеме данных и информацию о передаче.